

Technická univerzita v Liberci

Fakulta textilní



Zátěrová technologie

Habilitační práce

Obor: Textilní technika a materiálové inženýrství

Ing. Josef Dembický, Ph.D.

Liberec 2008

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat panu prof. ing. Jiřímu Militkému, CSc. za poskytnutí rad během zpracovávání této práce, panu Josefu Vojtěchovi za technické zázemí při provádění experimentů, firmě Grupo Antolin Bohemia, a.s. za spolupráci a své rodině za trpělivost a podporu.

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk.....	5
Seznam příložených publikací.....	7
1Úvod.....	8
2Teorie zátěrů.....	9
2.1Reologické vlastnosti zátěrových past.....	9
2.1.1Zdánlivá viskozita zátěrových past.....	13
2.1.2Vrstvení.....	13
2.2Hydrodynamika zátěrového procesu.....	16
2.3Povrchové vlastnosti.....	22
2.3.1Povrchové napětí.....	22
2.3.1.1Měření povrchového napětí.....	22
2.3.1.2Smáčení.....	23
2.3.1.3Povrchově aktivní látky.....	24
2.3.2Teorie adheze.....	24
2.3.2.1Rovnovážný kontaktní úhel.....	24
2.4Aplikace zátěrové technologie v automobilovém průmyslu.....	26
2.4.1Akustika v automobilovém průmyslu.....	26
2.4.2Akustická absorbce.....	27
2.4.3Vztah mezi parametry zátěru a akustikou.....	28
3Charakteristika publikací.....	30
4Seznam publikační činnosti.....	31
5Použitá literatura.....	33

Seznam použitých symbolů a zkratek

a	amplituda vrcholu zátěru [m]
a_t	amplituda (výška) vrcholu zátěru v čase t [m]
a_0	počáteční amplituda zátěru [m]
ABCD	... spodní plocha elementu
dry	... suchý zátěr
dv	... diferenciální změna rychlosti [$m \cdot s^{-1}$]
dx	... diferenciální změna tloušťky vrstvy [m]
EFGH	... horní plocha elementu
F	... síla [N]
g	gravitační zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]
h	tloušťka zátěru [m]
H_1	frekvenční přenosová funkce
H_i	frekvenční přenosová funkce spojená se složkou signálu od zdroje
H_r	frekvenční přenosová funkce spojená se složkou odraženého signálu
k	vlnové číslo [m^{-1}]
K	konstanta materiálu zátěru [-]
l	vzdálenost mezi prvním mikrofonem a přední stranou vzorku [m]
m_d	hmotnost suchého zátěru po fixaci [$g \cdot m^{-2}$]
m_w	hmotnost mokrého zátěru před fixací [$g \cdot m^{-2}$]
p	tlak vzniklý posunem elementu ve směru x [Pa]
R	komplexní koeficient odrazivosti [-]
s	hmotnostní poměr sušiny [-]
s	vzdálenost mezi měřicími mikrofony [m]
S	... plocha [m^2]
t	čas [s]
T_{max}	maximální smykové napětí [Pa]
u_x, u_y, u_z	rychlosti elementu zátěrové pasty ve směru x, y a z [$m \cdot s^{-1}$]
u_x	rychlost elementu zátěrové pasty ve směru x [$m \cdot s^{-1}$]
wet	... mokrá zátěr
W_a	adhezní práce [$J \cdot m^{-2}$]
x	průměrná tloušťka zátěru [m]
β	úhel, který vzniká mezi elementem zátěrové pasty a x -vou osou
ϕ	objemový zlomek disperzního podílu [-]
ϕ_c	kritická objemová frakce
γ	... smyková rychlost [s^{-1}]
η	... viskozita [Pa.s]
η	viskozita zátěru [Pa.s]
η_s	viskozita suspenze [Pa.s]
η_0	viskozita čistého disperzního prostředí [Pa.s]
λ	vlnová délka zátěru nebo vzdálenost mezi vrcholy [m]
πe	parametr korigující adsorpci par na povrchu pevné látky [$N \cdot m^{-1}$]
$pdx dy dz$	... diferenciální element hmoty
σ	povrchové napětí zátěru [$N \cdot m^{-1}$]
σ_{SG}	povrchová energie pevné látky [$J \cdot m^{-2}$]
σ_{LV}	povrchové napětí kapaliny [$N \cdot m^{-1}$]
σ_{SL}	mezipovrchové napětí kapalina-pevná látka [$N \cdot m^{-1}$]
τ	... smykové napětí [Pa]

$\tau_{xx}, \tau_{yx}, \tau_{zx}$ složky napětí působící ve směru x [Pa]
 θkontaktní úhel [deg]

Seznam přiložených publikací

Přiložené publikace jsou nejvýznamnější ve vztahu k předkládané habilitační práci. Jde o práce publikované [1, 5, 6], přijaté k publikaci [2, 3], příp. předběžně přijaté a právě recenzované [4] v zahraničních vědeckých časopisech.

[Příloha 1] Dembický, J.: Hydrophobe und wärmebeständige Beschichtungen, Textilveredlung 5/6, 43.Jahrgang, s. 18-21, 2008, Einsiedeln CH, ISSN 0040-5310

[Příloha 2] Dembický, J., Jain, S., Charaya, V.: Characteristics of coating process, Vlákn a Textil, 4/2008, Bratislava – **přijato k publikaci (termín 10/2008)** – potvrzení redakce v kapitole 5 **Přílohy**

[Příloha 3] Dembický, J.: Akustische Textilbeschichtungen in Fahrzeuginterieurteilen, Technische Textilien, Frankfurt am Main, 2008 – **přijato k publikaci (termín 11/2008)** – potvrzení redakce v kapitole 5 **Přílohy**

[Příloha 4] Dembický, J.: Simulation of coating process, Fibers and Textiles in Eastern Europe, 2008 – **právě recenzováno redakcí časopisu** – potvrzení redakce v kapitole 5 **Přílohy**

[Příloha 5] Dembický, J.: Messung der Netzfähigkeit von Fasern, Melland Textilberichte 84, 2003, s. 398-400, Frankfurt am Main

[Příloha 6] Dembický, J., Wiener, J. : Bestimmung der Kontaktwinkel von Flüssigkeiten beim Kontakt mit Textilfasern, Melland Textilberichte 86, 2005, s. 420-422, Frankfurt am Main

1 Úvod

Technologie zátěrů aplikovaných na textilní materiál je v současné době využívána především při výrobě technických a speciálních textilií. Aplikací zátěru na textilií lze docílit řady různých efektů, které dodávají materiálu finální spotřebitelské a uživatelské vlastnosti. Mezi tyto vlastnosti patří např. hydrofobita (je možné připravit materiály s vysokou odolností vůči působení vody za tlaku), odolnost proti teplotním vlivům (teploodrazivé zátěry), zvýšení elektrické vodivosti (snížení tvorby elektrostatického náboje), nehořlavost a mnoho dalších.

Realizace zátěrů úzce souvisí se dvěma obory chemické textilní technologie, a to s finálními úpravami a s textilním tiskem. Chemickou finální úpravou dodáváme na povrch, resp. do struktury textilie malé množství úpravnického prostředku a poskytujeme tak materiálu finální užitnou hodnotu. Efekt zátěrové technologie je podobný, ale aplikuje se zde mnohem větší množství zátěrového materiálu na povrch textilie s cílem zvýšení požadovaných efektů. Z pohledu nanášení je technologie zátěrů velmi podobná technologii tisku, nicméně je zde rozdíl právě ve výsledném efektu na povrchu textilie, jelikož při technologii tisku jde pouze o koloristický charakter textilního materiálu.

Existuje mnoho aplikačních technik a využití zátěrů nejen v oblasti textilního průmyslu, proto technolog v oblasti zátěrů musí ovládat řadu různých oborů [3].

Pro základní pochopení zátěrového procesu je důležité znát principy reologie a chemie povrchu. Reologie představuje obor fyzikálního chování všech materiálů vystavených mechanickému namáhání. Viskozita je základní reologická charakteristika zátěrů, představuje odolnost kapaliny vůči toku – poměr smykového napětí a smykové rychlosti. Viskozita charakterizuje plasticitu materiálu.

Chemie povrchu materiálů je důležitá z pohledu adheze zátěrového materiálu s textilním substrátem. Nejdůležitějšími sledovanými parametry jsou povrchové napětí zátěrové pasty a povrchová energie textilie. Znalost těchto dvou veličin umožňuje kvantitativní a kvalitativní popis typických zátěrových charakteristik, jako jsou např. tloušťka a soudržnost zátěrové vrstvy.

V habilitační práci jsou uvedeny výsledky zkoumání vlivu určujících parametrů na kvalitu a tím i výsledný efekt zátěru [6, 7]. Důraz je kladen na reologické vlastnosti zátěrové pasty a na parametry zátěrové linky. V rámci této práce je navržen nový model popisující hydrodynamické vlastnosti zátěrové pasty při její aplikaci na materiál prostřednictvím stěrkového zátěru [8]. Dále jsou navrženy technologické postupy pro aplikaci akustických zátěrů, které byly vyvinuty pro účely zvýšení akustické absorbce v oblasti automobilových interiérů [9]. Při řešení problematiky povrchových vlastností zátěrů byla vyvinuta metoda měření kontaktních úhlů na vláknech a plošných textiliích, resp. Měření povrchového napětí zátěrové pasty, popsána v pracích [10, 11].

2 Teorie zátěrů

2.1 Reologické vlastnosti zátěrových past

Základní reologickou veličinou je viskozita, která je definována jako odpor kapaliny vůči toku a její pochopení je základem k úspěšné realizaci procesů jako jsou zátěry nebo tisk. Vychází se ze situace, při které je kapalina umístěna mezi 2 paralelní desky ABCD a EFGH. Spodní deska ABCD je stacionární, zatímco horní deska EFGH se pohybuje (obr. 2.1). Tyto desky se od sebe separují na vzdálenost x a smyková síla F působí tangenciálně na vrchol horní desky EFGH plochy S , takže deska EFGH se pohybuje rychlostí v (viz obr. 2.1). Horní vrstva kapaliny se pak pohybuje nejvyšší rychlostí a směrem ke spodní desce se rychlost snižuje. Gradient rychlosti dv/dx skrz vrstvu je konstantní. Parametr dv je diferenciální změna rychlosti v tloušťce vrstvy kapaliny dx [1]. Smyková rychlost je rovna gradientu rychlosti (1) [1].

$$\gamma = \frac{dv}{dx} \quad (1)$$

γ . . . smyková rychlost [s^{-1}]

dv . . . diferenciální změna rychlosti [$m.s^{-1}$]

dx . . . diferenciální změna tloušťky vrstvy [m]

Smyková síla působí na jednotku plochy a nazývá se smykové napětí (2) [1].

$$\tau = \frac{F}{S} \quad (2)$$

τ . . . smykové napětí [Pa]

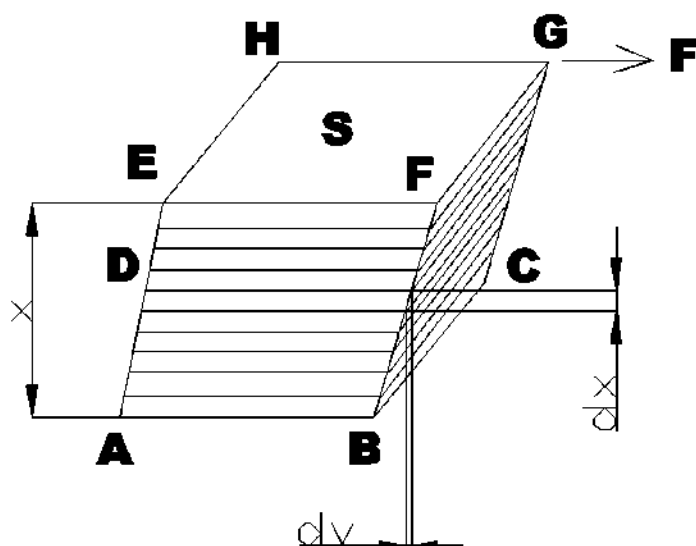
F . . . síla [N]

S . . . plocha [m^2]

Newton pak vyslovil správný předpoklad, že velikost tečného napětí pro danou kapalinu je úměrná rychlostnímu gradientu. Viskozita je tedy definována jako poměr napětí a rychlosti (3) [4].

$$\eta = \frac{\tau}{\gamma} = \tau \frac{dx}{dv} \quad (3)$$

η . . . viskozita [Pa.s]



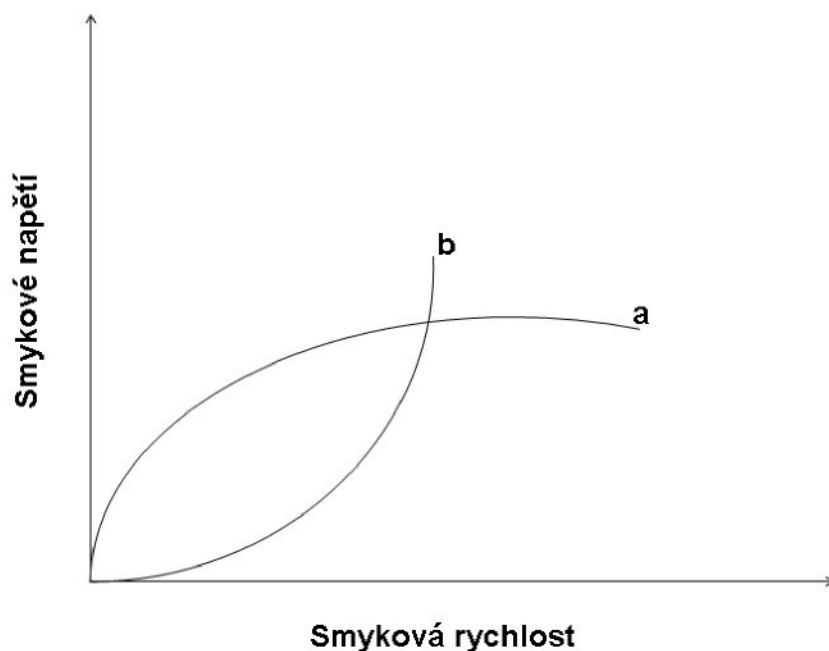
Obr. 2.1: Tok kapaliny při smyku: S – plocha, F – síla.

Jednotkou smykového napětí je N.m^{-2} , smykové rychlosti s^{-1} a viskozity Pa.s . Kapaliny, u kterých je smykové napětí přímo úměrné smykové rychlosti se označují jako Newtonské. Graf závislosti smykového napětí na smykové rychlosti u takovéto kapaliny představuje přímku procházející počátkem, jinými slovy viskozita u Newtonských kapalin je konstantní.

Kapaliny s viskozitou, která není konstantní, ale mění se jako funkce smykové rychlosti se označují jako ne-Newtonské. Hodnota viskozity určené pro ne-Newtonské kapaliny při malé smykové rychlosti se označuje jako zdánlivá viskozita. Jelikož viskozita se u těchto kapalin mění se smykovou rychlostí, je možné vyjádřit pouze profil viskozity [1, 2].

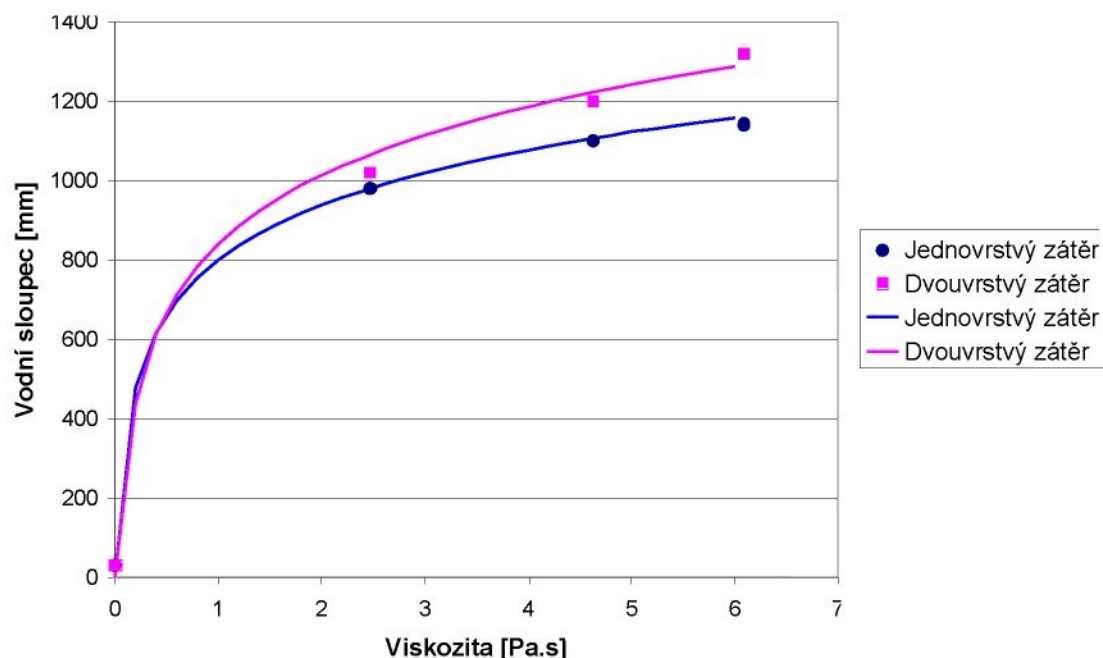
Vhodné reologické vlastnosti zátěrového materiálu jsou podstatné pro úspěšnou aplikaci zátěru [5]. Tokové vlastnosti zátěrové pasty ovlivňuje smykové namáhání vznikající během procesu. Při používání zátěrových past je užitečné znát viskozitu při vysokých a nízkých hodnotách smykového namáhání. Vysoké smykové namáhání je dosahováno v zátěrové hlavě, což je místo, kde dochází k nánosu pasty na substrát [2]. Vysoká viskozita v oblasti zátěrové hlavy může způsobovat nerovnoměrnou depozici zátěrové pasty a dokonce může deformovat zátěrovou stěrku. Důležitou roli hraje také hodnota viskozity. Reologie past je velmi komplikovaná problematika, a proto je třeba jí věnovat značnou pozornost v oblasti zátěrových technologií.

Vysoce zředěné disperze obsahující více než 50% plastifikátoru se chovají jako Newtonské kapaliny. Zátěrové pasty obsahují vysoký podíl polymerů, a vykazují ne-Newtonské chování. V závislosti na složení mohou být pasty pseudoplastické, dilatantní nebo thixotropické (obr. 2.2) [2]. Tokové vlastnosti se obecně mění se smykovým namáháním. Pasta může vykazovat pseudoplastický tok při nízkých smykových namáháních, dilatanci u středních a znovu pseudoplastické chování u vyšších smykových namáháních. Pseudoplastické chování se projevuje kvůli vadám ve struktuře past při smykovém namáhání, zatímco dilatance vzniká z důvodu specifické distribuce velikosti částic, která není příznivá z hlediska odolnosti vůči toku. V souvislosti s procesem vrstvení hraje viskozita roli ve smyslu snižování amplitudy vrcholů zátěru s jejím růstem (viz. kapitola 2.3.1.4). Amplituda je charakterizována jako maximální dosažená výška zátěrového filmu na povrchu materiálu.



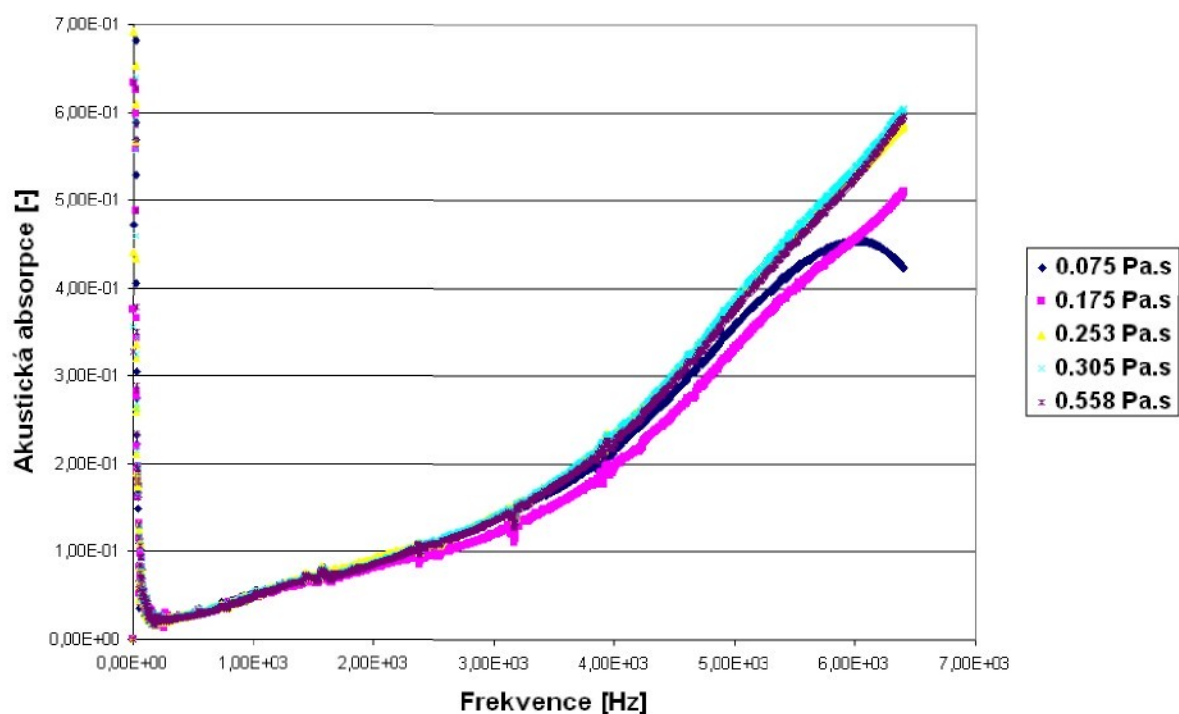
Obr. 2.2: Tokové chování ne-Newtonských kapalin. a- pseudoplastické, b- dilatantní.

Vliv reologických vlastností na efektivitu zátěru byl sledován v publikaci [6]. Na obr. 2.3 je uveden příklad experimentálně zjištěných dat po aplikaci jednovrstvého, resp. dvouvrstvého zátěru. Kvalita zátěru byla v tomto případě hodnocena měřením výšky vodního sloupce, který charakterizuje nepropustnost materiálu pro vodu. Jak lze pozorovat, nárůst je zpočátku výrazný, ale postupně se zvyšující se viskozitou nedochází k výraznému zlepšení. Množství zátěrového materiálu pak efektivitu zátěru nepatrně zvyšuje. Tato skutečnost dokazuje, že viskozita nehraje podstatnou roli v případě zvyšování efektů zátěrů.



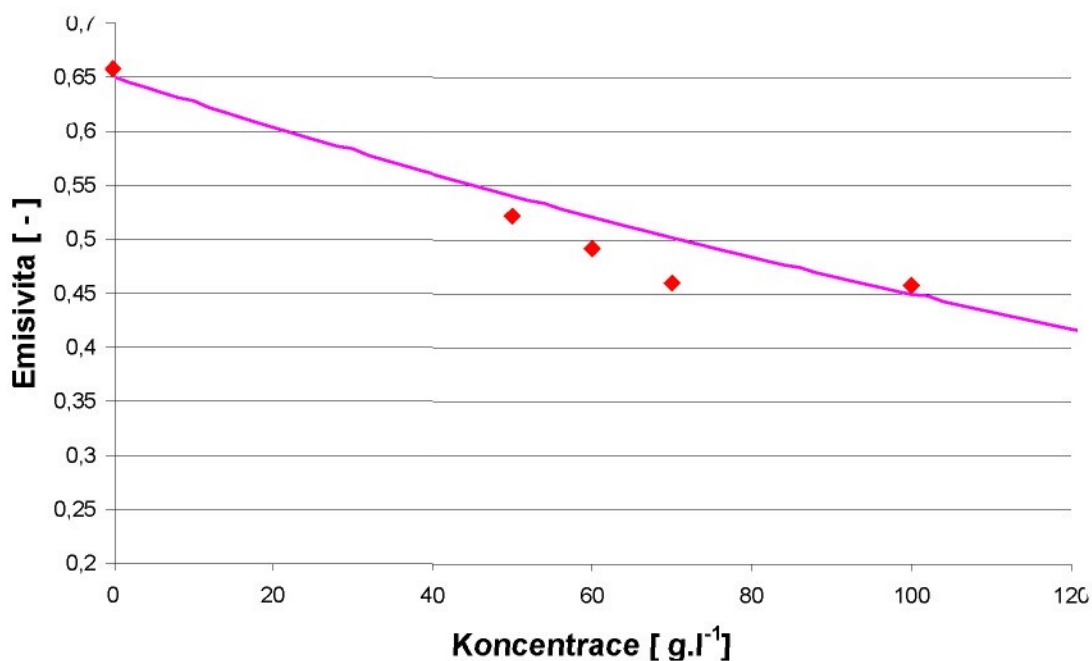
Obr.2.3: Příklad znázornění vlivu viskozity na efektivitu hydrofobního zátěru [6].

Vliv viskozity na efektivitu zátěru byl dále řešen v [9]. Sledovaným parametrem zde byla akustická absorpce. Z obr. 2.4 plyne, že vyšší viskozita efekt zátěru zvyšuje, nicméně jde pouze o nepatrné zvýšení.



Obr. 2.4: Vliv viskozity na efektivitu akustického zátěru [9].

Efektivita zátěru souvisí také s koncentrací aktivní složky zátěrového materiálu. Jako příklad lze uvést vliv koncentrace aluminiové pasty v případě speciálních teploodrazivých zátěrů v závislosti na emisivitě (obr. 2.4) [6].



Obr.2.4: Příklad vlivu koncentrace aktivní složky na efektivitu teploodrazivého zátěru [6].

2.1.1 Zdánlivá viskozita zátěrových past

Rovnice vyjadřující závislost viskozity zředěných disperzních systémů na koncentraci disperzního podílu, jehož částice jsou tuhé nedeformabilní koule bez elektrického náboje, velké ve srovnání s molekulami disperzního prostředí, ale malé ve srovnání s prostorem, v němž k proudění dochází je popsána vztahem (4) [5].

$$\eta_s = \eta_0 (1 + 2.5\phi) \quad (4)$$

η_sviskozita suspenze [Pa.s]

η_0viskozita čistého disperzního prostředí [Pa.s]

ϕobjemový zlomek disperzního podílu [-]

Poměr η_s/η_0 se označuje jako relativní viskozita η_r . Tato rovnice je platná pro zředěné roztoky. Při objemové frakci $\phi > 0.025$ je relativní viskozita η_r mnohem menší než aktuální sledovaná. Navíc platí tato rovnice pouze v případě, když jsou dispergované částice monodisperzní a neprojevují se interakce mezi částicemi a médiem.

Johnstonem a Browerem [3] byla odvozena rovnice (5) pro zdánlivou viskozitu, která je aplikovatelná pro PVC pasty s objemovou frakcí okolo 0.2, pro některé pryskyřice a změkčující systémy [5].

$$\log_{10} \eta_r = \left(1.33 - 0.84 \frac{\phi}{\phi_c} \right) \left(\frac{\phi}{\phi_c} - \phi \right) \quad (5)$$

ϕ_ckritická objemová frakce, definovaná jako objemová frakce částic polymeru v pokročilém stavu želatinace

Tokové vlastnosti pasty jsou silně ovlivněny jejím složením. Důležitými faktory jsou velikost částic, distribuce velikosti částic, typ změkčovadla (plastifikátoru) a jeho množství. Dalšími přípravky ovlivňujícími reologii jsou aditiva [5].

2.1.2 Vrstvení

Vrstvení materiálu zátěru na povrch textilie je závislé jak na reologických vlastnostech zátěru tak na povrchových vlastnostech. Cílem je získat vrstvu s konstantní amplitudou zátěru, ideální stav je zátěr bez vrcholů (amplitud), čehož však nebývá nikdy dosaženo. Příčinou vzniku vrcholů zátěru je vypařování rozpouštědla ze zátěrové pasty, čímž dochází ke změně povrchového napětí v tloušťce zátěrového filmu. Tento proces finální tvorby tvaru filmu je velmi komplikovaný a je obtížné ho kontrolovat. Je proto důležité zabývat se dynamikou vrstvení.

Předpokladem je, aby bylo dosaženo dostatečného smočení. Důležité parametry ovlivňující vrstvení jsou viskozita, povrchové napětí, tloušťka zátěru a stupeň rovnoměrnosti mokrého zátěru. Bylo odvozeno několik vztahů popisujících vrstvení. Rovnice (6) znázorňuje celkem výstižně tento proces [4].

$$a_t = a_0 \cdot \frac{\exp(\sigma x^3 t K)}{3\lambda^4 \eta} \quad (6)$$

a_t amplituda (výška) vrcholu zátěru v čase t [m]
 a_0 počáteční amplituda zátěru [m]
 σ povrchové napětí zátěru [N.m^{-1}]
 η viskozita zátěru [Pa.s]
 x průměrná tloušťka zátěru [m]
 t čas vrstvení [s]
 λ vlnová délka zátěru [m]
 K konstanta materiálu zátěru [-]

Rovnice (6) vyjadřuje, že stejnoměrnost vrstvení lze zlepšit těmito kroky:

1. Delším časem (t)
2. Vyšším povrchovým napětím zátěru (σ)
3. Nižší viskozitou (η)
4. Větší tloušťkou zátěru (h)
5. Menší opakující se vzdáleností mezi vrcholy (λ)

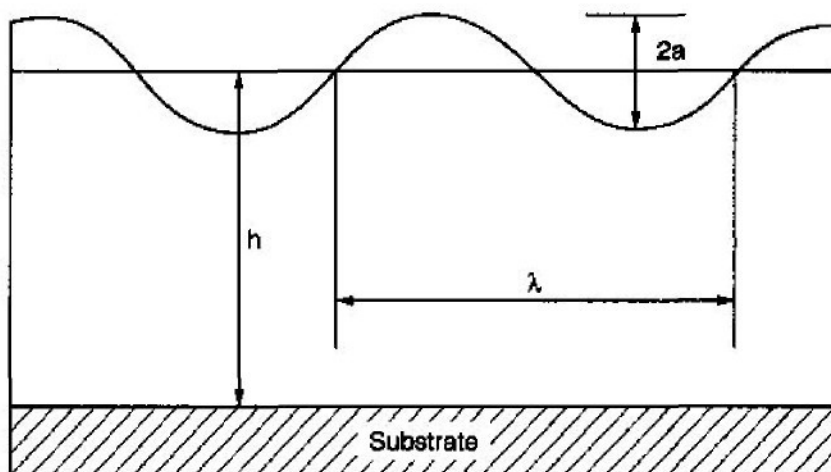
Je důležité si všimnout, že tloušťka zátěru je v rovnici ve třetí mocnině. Zdvojnásobení tloušťky poskytuje osminásobné zlepšení vrstvení. Také je třeba poznamenat, že λ , vzdálenost mezi vrcholy, je ve čtvrté mocnině. To znamená, že vrcholy, které jsou daleko od sebe vytvářejí složitou situaci pro vrstvení.

Rovnice (7) znázorňuje vztah mezi různými parametry a smykovým napětím [4, 5].

$$T_{\max} = \frac{4\pi^3 \sigma a h}{\lambda^3} \quad (7)$$

$T_{\max}$ maximální smykové napětí [Pa]
 σ povrchové napětí zátěru [N.m^{-1}]
 a amplituda vrcholu zátěru [m]
 h tloušťka zátěru [m]
 λ vlnová délka nebo vzdálenost mezi vrcholy [m]

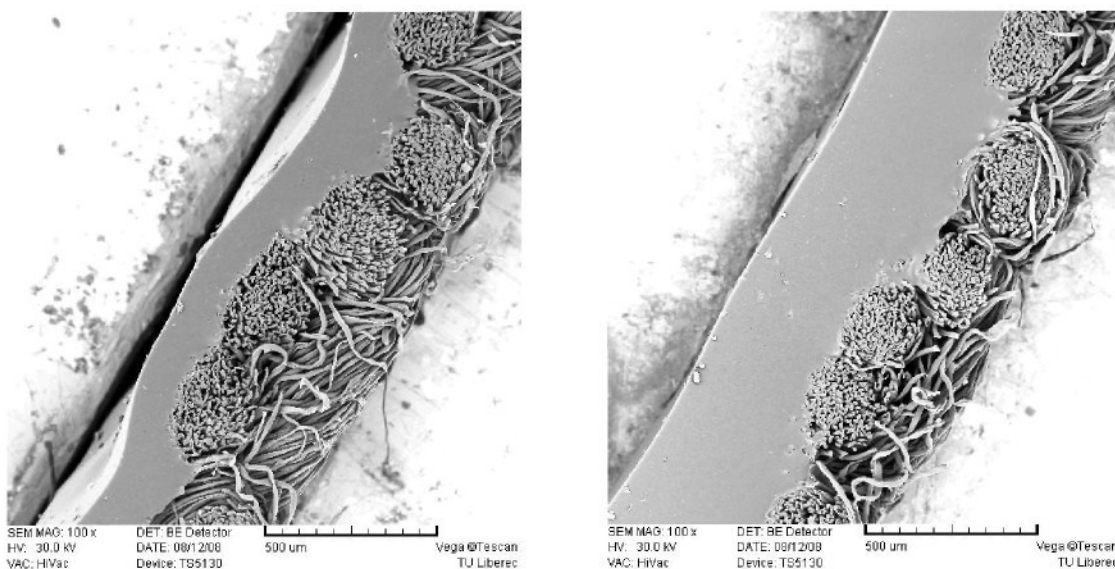
Je patrné, že zvyšující se povrchové napětí a tloušťka zátěru poskytují vysoké smykové napětí. Amplituda a zvyšuje smyk, zatímco vlnová délka λ ho výrazně redukuje. Jestliže nelze zabránit vzniku zátěrových vrcholů, pak jsou preferovány vyšší vrcholy uspořádané blíže k sobě. Na obr. 2.5 je znázorněno vrstvení sinusového filmu [1].



Obr. 2.5: Ideální sinusový povrch [1].

substrát

Reálný tvar povrchu zátěrové vrstvy na textilním substrátu je znázorněn na obr. 2.6 [8]. Na snímku jsou zachyceny dva případy s různou spárou mezi stěrkou a substrátem. Větší spára, jak lze pozorovat, poskytuje film s rovnoměrnějším povrchem. Vliv na rovnoměrnost má také struktura povrchu upravovaného substrátu [8].



Obr. 2.6: Zátěrová vrstva na povrchu textilního substrátu aplikovaná se spárou 0,6, resp. 0,8mm [8].

2.2 Hydrodynamika zátěrového procesu

Při aplikaci mokrého zátěru dochází v podstatě k pohybu kapaliny. Celková makroskopická silová rovnováha je určena z principů zachování hybnosti elementárního objemu v kapalině. Síla působící na objem kapaliny je dána rychlostí změny hybnosti kapalného okolí.

Celková síla F_x působící ve směru x na element kapaliny pohybující se rychlostí kapaliny je dána součtem síly F_{xB} (vzniká vlivem hmotnosti objemu elementu) a síly F_{xS} (vzniká vlivem napětí vznikajícího ve směru x) (8), [24, 25].

$$F_x = F_{xB} + F_{xS} \quad (8)$$

Pro diferenciální element hmoty $\rho dx dy dz$ vzniká z rovnice (8) vztah (9) [17].

$$\rho dx dy dz (du_x/dt) = \rho dx dy dz g \cos \beta + (\partial \tau_{xx}/\partial x + \partial \tau_{yx}/\partial y + \partial \tau_{zx}/\partial z) dx dy dz \quad (9)$$

Z rovnice (9) po úpravě vyjde,

$$\rho du_x/dt = g \cos \beta + (\partial \tau_{xx}/\partial x + \partial \tau_{yx}/\partial y + \partial \tau_{zx}/\partial z) \quad (10)$$

u_xrychlost elementu zátěrové pasty ve směru x [$m \cdot s^{-1}$]

ρhustota elementu zátěrové pasty [$kg \cdot m^{-3}$]

ggravitační zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]

βúhel, který vzniká mezi elementem zátěrové pasty a x -vou osou

tčas [s]

$\tau_{xx}, \tau_{yx}, \tau_{zx}$ složky napětí působící ve směru x [Pa]

Po substituci vzniká Navier-Stokesova rovnice (11). Je to rovnice pohybu elementárního objemu ve směru x a lze ji použít pro hydrodynamický popis zátěrů [17].

$$u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_x}{\partial t} = g \cos \beta - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\eta}{\rho \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2} \right)} + \frac{1}{3} \frac{\eta}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \quad (11)$$

u_x, u_y, u_z rychlosti elementu zátěrové pasty ve směru x, y a z [$m \cdot s^{-1}$]

ptlak vzniklý posunem elementu ve směru x [Pa]

ηviskozita zátěrové pasty [Pa.s]

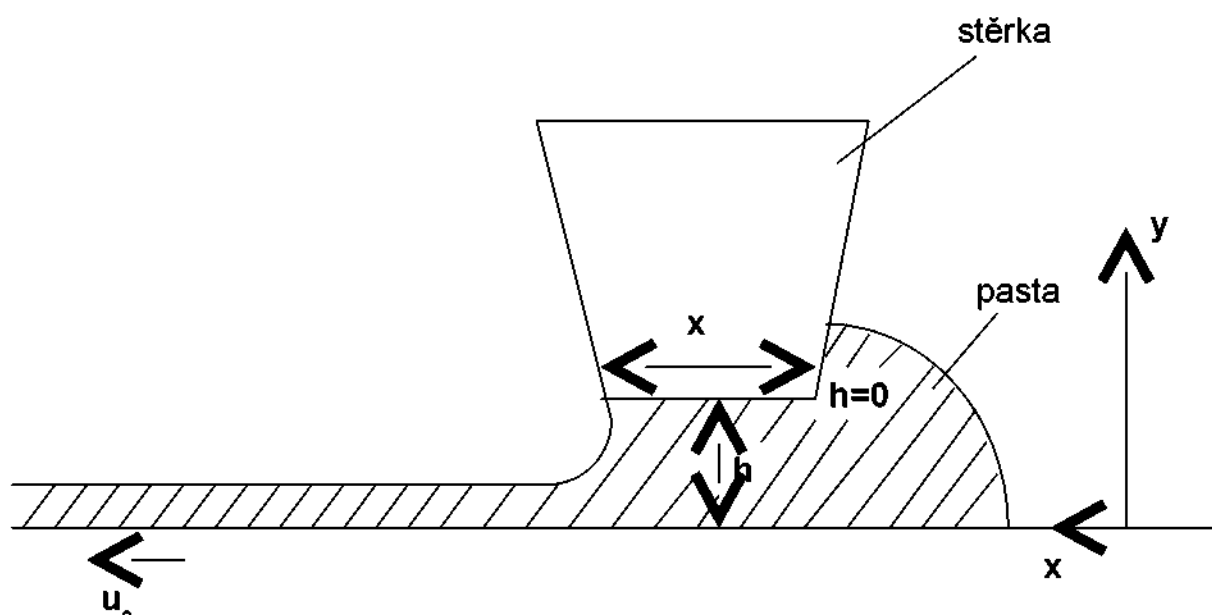
U stěrkových zátěrů dochází k posunu textilního materiálu pod napětím pod stěrkou. Zátěrová pasta je nanášena manuálně nebo čerpadlem ke stěrce. Spára mezi stěrkou a textilním materiálem pak určuje tloušťku zátěru. Z pohledu jednoduché analýzy je tloušťka zátěrového filmu funkcí pouze pěti proměnných. Jsou jimi: spára mezi stěrkou a textilií, rychlost textilie, viskozita, hustota a povrchové napětí zátěrové pasty. Pro pohyb zátěrové pasty ve směru osy x lze rovnici (11) redukovat na tvar [1]:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\eta \partial^2 u_x}{\partial y^2} + \rho g \quad (12)$$

Okrajové podmínky jsou dány takto: u stěrky je zátěrová pasta nepohyblivá, $u=0$, rychlost pasty u textilie je stejná jako rychlost textilie, $u=u_0$ při $y=h$. Spára mezi stěrkou a textilií je h a je srovnatelná s šířkou stěrky x' (obr.2.7).

Zátěrové zařízení lze srovnat s kanálem a je zde využíván paralelní plošný tokový model. Pro Newtonské kapaliny je určena rychlost rovnicí (13), která vznikla dvojitou integrací rovnice (12) podle x a y a aplikací výše uvedených okrajových podmínek [1].

$$u = \frac{u_0 y}{h} + \frac{1}{2\eta} \left(\frac{dp}{dx} - \rho g \right) (y^2 - hy) \quad (13)$$



Obr.2.7 : Stěrkový zátěr: h je spára mezi stěrkou a textilií; x' je šířka stěrky; u stěrky je $h=0$, $u=0$; u textilie je $y=h$ a $u=u_0$ [1].

Celkové množství zátěrové pasty Q , které projde spárou na jednotku délky a za jednotku času, je určeno integrací výše uvedené rovnice (13) s mezemi $y=0$, $u=0$ a $y=h$, $u=u_0$ za vzniku rovnice (14) [1].

$$Q = \int_0^h u dy = \frac{u_0 h}{2} - \left(\frac{1}{12\eta} \right) \left(\frac{dp}{dx} - \rho g \right) h^3 \quad (14)$$

Tloušťku zátěru, W , lze určit dělením Q rychlostí textilie u_0 – rovnice (15) [1].

$$W = \frac{h}{2} - \left(\frac{1}{12\eta u_0} \right) \left(\frac{dp}{dx} - \rho g \right) h^3 \quad (15)$$

Tlakový gradient je vztažen na povrchové napětí zátěrové pasty vzhledem k rovnovážné síle působící na výstupu spáry a tím vzniká rovnice (16) [1].

$$\frac{dp}{dx} = - \frac{\sigma}{2h^2} \quad (16)$$

kde σ je povrchové napětí zátěrové pasty.

Pak platí pro tloušťku zátěru rovnice (17) obsahující pět parametrů uvedených výše. Kombinací rovnic (15) a (16) vyjde pro tloušťku zátěru vztah.

$$W = \frac{h}{2} + \frac{\left(\frac{1}{12\eta} \right) \left(\frac{\sigma}{2h^2} + \rho g \right) h^3}{u_0} \quad (17)$$

Výsledkem této analýzy pro stěrkový zátěr je pak zjištění, že tloušťka zátěru je dána součtem poloviny zátěrové spáry a výrazu, jehož hodnota závisí na povrchovém napětí pasty, spáře mezi stěrkou a textilií, viskozitě zátěrové pasty a rychlosti textilie. Hodnota tohoto výrazu roste se zvyšující se spárou mezi stěrkou a substrátem. V reálných podmínkách je vždy tato hodnota menší, než je hodnota prvního členu $h/2$.

Fyzikální charakteristiky zátěrové vrstvy aplikované na textilní substrát byly sledovány v práci [7]. Na obr. 2.8 je znázorněn průběh závislosti nastavené výšky h na hmotnosti zátěru. Jsou zde porovnány teoreticky vypočtené hmotnosti vycházející ze vztahu (18) pro stav před fixací, dále ze vztahu (19) pro stav po fixaci a experimentálně naměřené hodnoty. Hmotnost mokrého zátěru před fixací je:

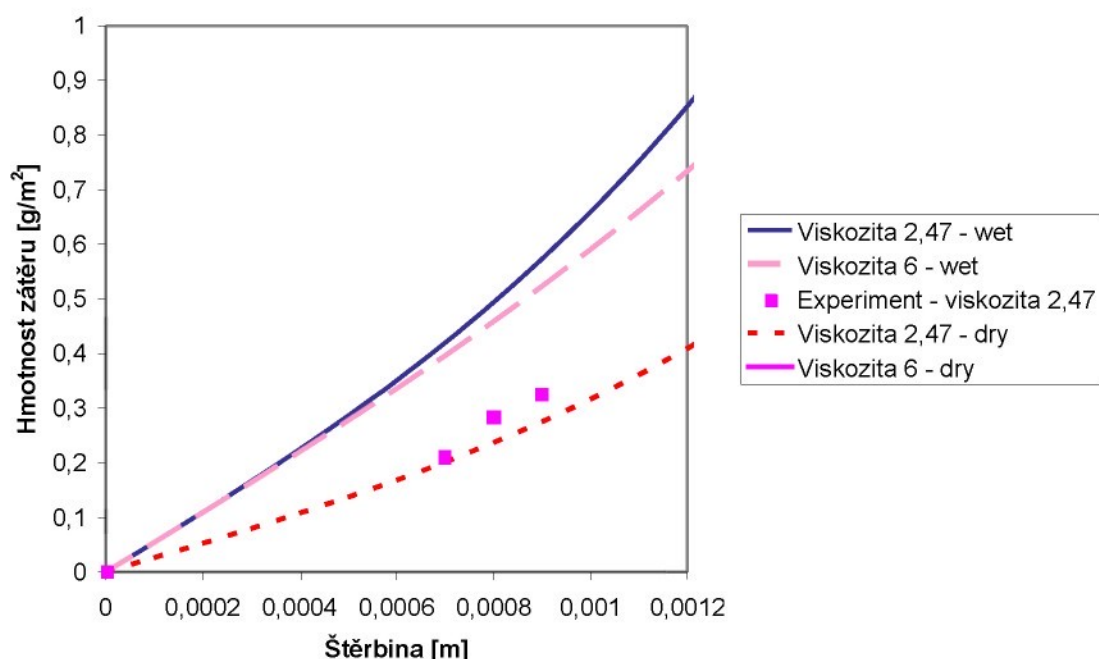
$$m_w = \rho \left[\frac{h}{2} + \frac{\left(\frac{1}{12\eta} \right) \left(\frac{\sigma}{2h^2} + \rho g \right) h^3}{u_0} \right] = \rho W \quad (18)$$

m_w ... hmotnost mokrého zátěru před fixací [g.m^{-2}] a hmotnost suchého zátěru

$$m_d = m_w S \quad (19)$$

m_d ... hmotnost suchého zátěru po fixaci [g.m^{-2}]

s.....obsah sušiny v zátěrové pastě [%]



Obr. 2.8: Vliv velikosti výšky h (štěrbina) na hmotnosti fixovaného zátěru. Porovnání teoretického modelu (19) a (20) s experimentálními daty. Viskozita je uvedena v jednotkách Pa.s.

Dále byl v [8] navržen empirický model popisující hmotnost fixovaného zátěru (19), (20) a tloušťku vrstvy (21), (22). Porovnání modelů s experimentálními výsledky je znázorněno na obr. 2.9 a 2.10. Je sledována závislost na velikosti spáry mezi stěrkou a textilií, resp. na rychlosti pohybu textilie.

$$m = \left[\left(\frac{\rho}{2} + \frac{\sigma \rho}{24\eta u_0} \right) h + \frac{\rho^2 g}{12\eta u_0} h^3 \right] s \quad (19)$$

s.....hmotnostní poměr sušiny [-]

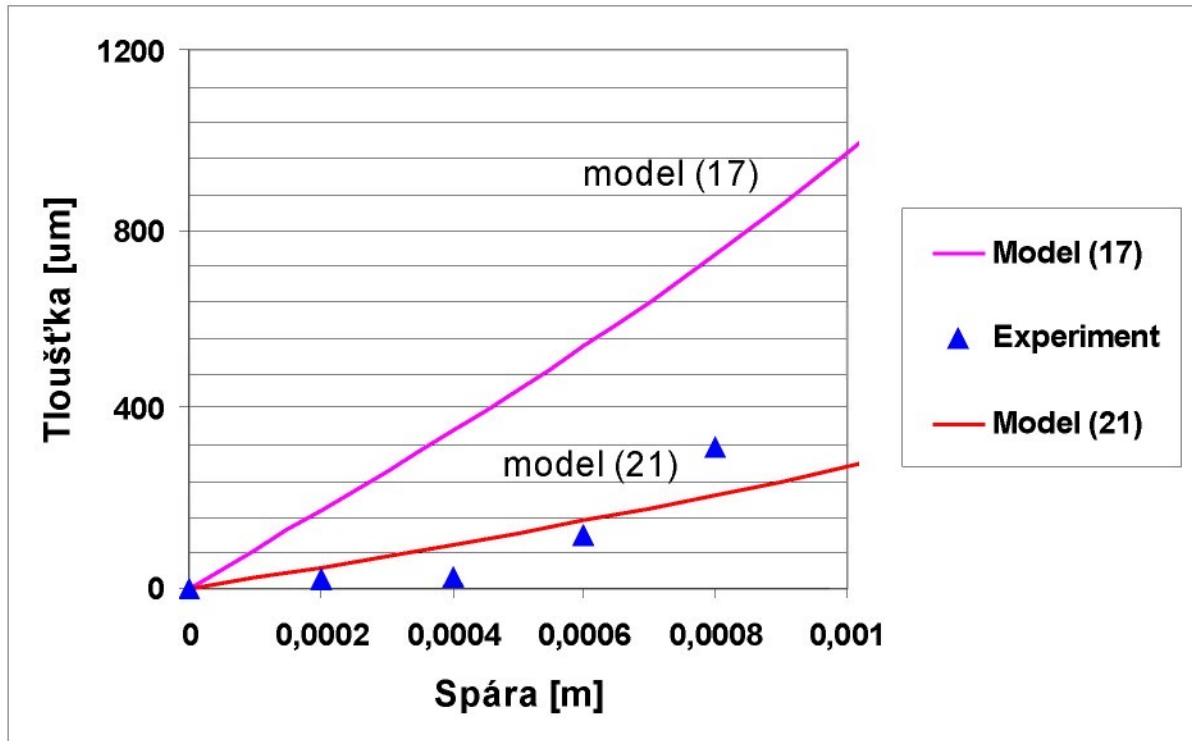
$$m = \left[\frac{h\rho}{2} + \frac{\left(\frac{1}{12\eta} \right) \left(\frac{\sigma}{2h^2} + \rho g \right) \rho h^3}{u_0} \right] s \quad (20)$$

$$W_M = \left[\frac{h}{2} + \frac{\left(\frac{1}{12\eta} \right) \left(\frac{\sigma}{2h^2} + \rho g \right) h^3}{u_0} \right] \cdot s \cdot e^{-h} \quad (21)$$

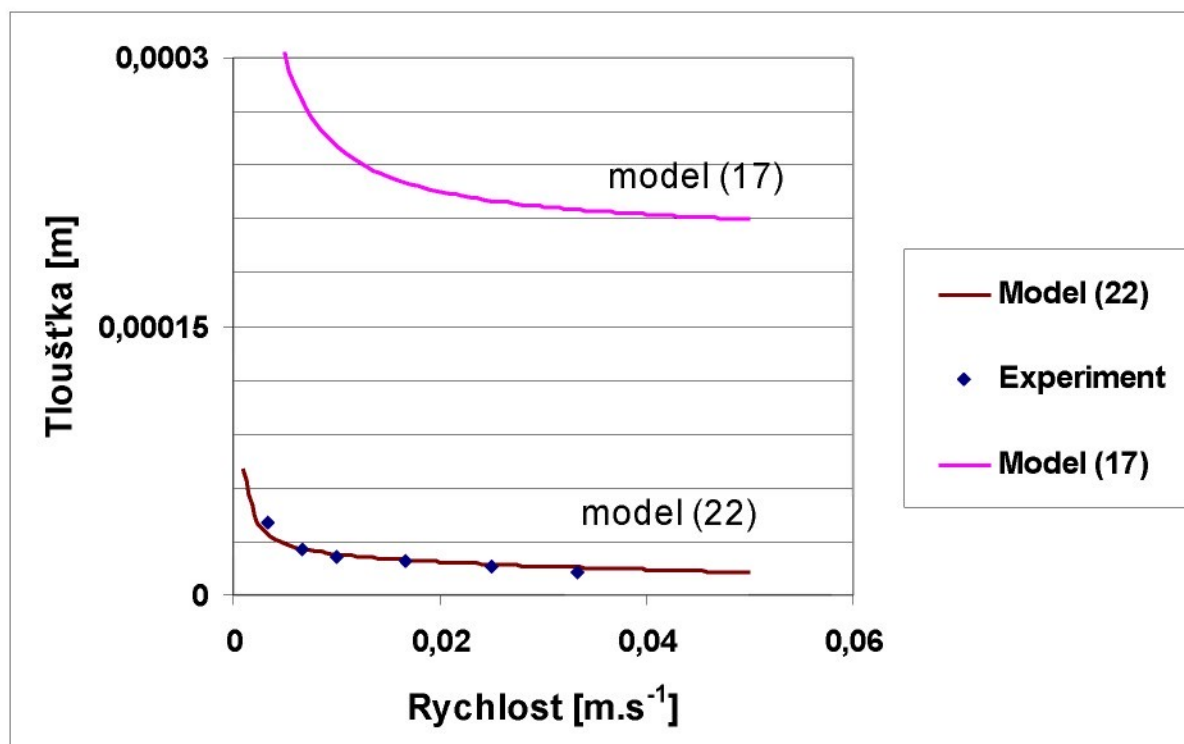
Člen e^{-h} charakterizuje empirickou část vztahu (21) [8].

$$W_M = \left[\frac{h}{2} + \frac{\left(\frac{1}{12\eta} \right) \left(\frac{\sigma}{2h^2} + \rho g \right) h^3}{u_0} \right] \cdot s \cdot e^{-\frac{u_0}{s}} \quad (22)$$

V rovnici (22) je empirickým členem výraz $e^{-\frac{u_0}{s}}$ [8].



Obr. 2.9: Porovnání modelu (21) vyjadřujícího vztah mezi spárou a tloušťkou zátěru po fixaci s experimentálními daty a dále s modelem (17), který charakterizuje mokré zátěr [8].



Obr. 2.10: Porovnání modelu (22) vyjadřujícího vztah mezi rychlostí materiálu a tloušťkou zátěru po fixaci s experimentálními daty a s modelem (17) [8].

2.3 Povrchové vlastnosti

(22)

Chemie povrchu je obor zabývající se kontaktem dvou materiálů. Fázové rozhraní existuje mezi jakoukoliv formou hmoty včetně plynných fází. U zátěrové technologie je důležité pouze pochopení dějů probíhajících na rozhraní mezi pevnou látkou a kapalinou. Ačkoliv zde existuje i interakce mezi zátěrovým materiálem a vzduchem, lze ji zanedbat z důvodu velmi malého vlivu [1, 2, 22].

(23)

2.3.1 Povrchové napětí

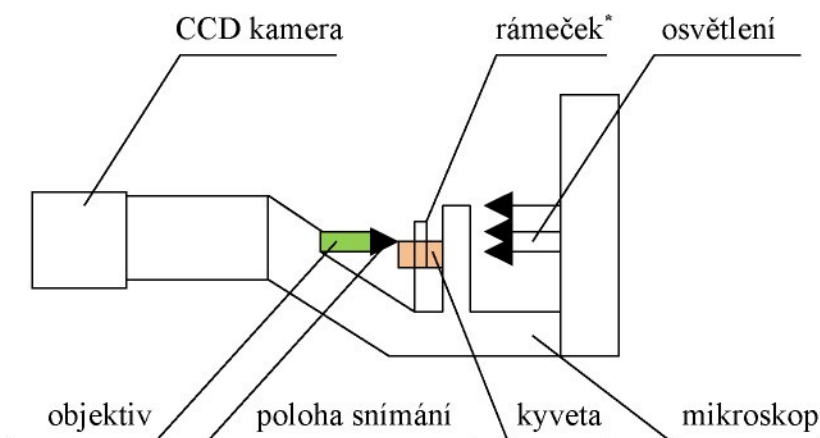
Všechny kapaliny jsou tvořeny submikroskopickými kombinacemi atomů zvaných molekuly (velmi málo kapalin je tvořeno nekombinovanými atomy). Molekuly, které jsou blízko u sebe využívají silového působení. Tyto síly dávají vznik speciální vlastnosti kapalin, kterou je povrchové napětí. Jednotkou je síla na jednotku délky (mN/m nebo dyn/cm). Molekuly uvnitř kapaliny jsou vzájemně vázány silami ze všech stran, kdežto molekuly na povrchu kapaliny jsou vázány pouze silami vznikajícími s molekulami pod nimi. S plynnou fází nedochází k tvorbě významných sil [1].

2.3.1.1 Měření povrchového napětí

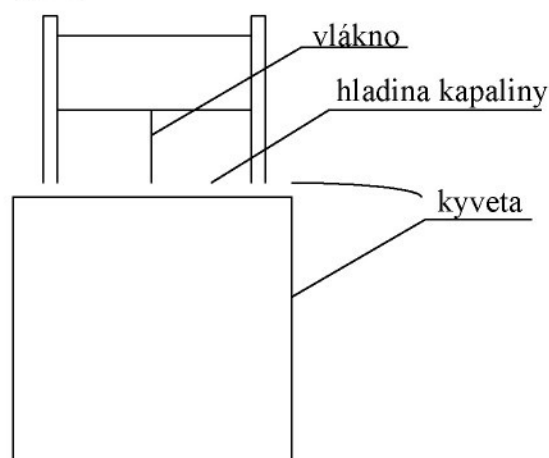
Každá kapalina má specifickou hodnotu povrchového napětí. Kapaliny s vysokým povrchovým napětím (např. voda – 73mN/m) demonstrují vysoké intermolekulární síly a vysokou tendenci vytvářet kulový tvar. Kapaliny s nízkou hodnotou povrchového napětí mají malou tendenci k formování kulového tvaru.

Existuje řada metod pro měření povrchového napětí kapalin. Tab. 2.1 poskytuje hodnoty povrchového napětí pro běžná rozpouštědla. Tyto metody jsou také vhodné pro stanovení povrchového napětí pevných látek, které se většinou nazývá povrchová energie. Tab. 2.2 znázorňuje hodnoty povrchových energií některých pevných látek [20].

Při určování povrchového napětí zátěrových past je možné využít metodu popsanou v [10] a dále zdokonalenou v [11]. Metodika měření je znázorněna na obr. 2.11. Jedná se o mikroskopické snímání interakce kapaliny s vláknem s následným obrazovým zpracováním. Nepřímým výstupním parametrem je buď povrchová energie vlákna nebo povrchové napětí kapaliny v závislosti na tom, jaký parametr představuje závisle proměnnou a jaký nezávisle proměnnou. V případě stanovení povrchového napětí zátěrového materiálu se při měření použijí vlákna se známou povrchovou energií a na základě zjištění kontaktních úhlů se vypočte povrchové napětí zátěrového materiálu.



*... detail rámečku:



Obr. 2.11: Metodika měření kontaktních úhlů [11].

2.3.1.2 Smáčení

Kapalina umístěná na pevném povrchu se bude buď smáčet (roztékat) nebo vytvářet kulový tvar na povrchu (odperlování). Může vzniknout i mezistav, kdy nedochází ani ke smáčení, ani k odperlování. Kapalina zaujme statickou rovnovážnou polohu na povrchu. Úhel, který vzniká na rozhraní mezi kapalinou a pevným povrchem je nazýván kontaktní úhel. Jakmile má úhel hodnotu větší než nula, nedochází v tomto případě k dokonalému smáčení (rozestření) a takovýto úhel je pak měřitelný. Intramolekulární síly v kapalině jsou větší než silová nabídka pro pevnou fázi. Povrchové napětí kapaliny je vyšší než povrchová energie pevné látky. Podmínky dokonalého smáčení nastávají, je-li kontaktní úhel 0° [22].

Tab.2.1: Povrchové napětí kapalin [22].

Kapalina	Povrchové napětí (mN/m)
SF₆	5,6
Kyselina trifluoroctová	15,6
Heptan	22,1
Metanol	24
Aceton	26,3
Dimethylformamid	36,8
Etylenglykol	48,4
Formami	59,1
Glycerol	63,1
Dijodmetan	70,2
Voda	72,8
Rtuť	490,6

Tab.2.2: Povrchové energie pevných látek [22].

Polymer	Povrchová energie (mN/m)
Polyperfluoropropylen	16
Teflon	18,5
Polydimetylsiloxan	24
Polyetylen	31
Polystyren	34
Polymethylmetakrylát	39
Polvinylchlorid	40
Polyethylentereftalát	43
Polyamid	46

Intermolekulární síly (kapalina-pevná látka) jsou v tomto případě větší. Povrchové napětí kapaliny je menší než povrchová energie pevné látky.

Měření kontaktního úhlu představuje metodu stanovení relativního rozdílu mezi dvěma povrchovými napětími (kapalina x pevná látka). Vysoké kontaktní úhly vyjadřují velký rozdíl mezi hodnotami jednotlivých povrchových napětí, naopak je tomu u nízkých hodnot, avšak nedochází k absolutnímu vyrovnání.

2.3.1.3 Povrchově aktivní látky

Přípravky poskytující mezifázové interakce se nazývají povrchově aktivní látky. Povrchově aktivní látky obsahují dvě různé chemické skupiny, jedna je kompatibilní s kapalinou a která se modifikuje a druhá skupina mající nízké povrchové napětí. Např. Povrchové napětí epoxidové pryskyřice může být sníženo přidavkem povrchově aktivní látky s hydroxylovou skupinou (epoxi-kompatibilní) na jednom konci a fluoroskupinou na druhém konci. Hydroxylová skupina bude reagovat s epoxidovým zbytkem, obsahujícím nekompatibilní flourované koncové skupiny na povrchu. Epoxidový zátěr se bude chovat jako fluorovaná chemikálie s nízkým povrchovým napětím.

Pro snížení povrchového napětí zátěrového materiálu stačí obvykle přidavek 1% povrchově aktivní látky.

Další možností je využití reaktivních povrchově aktivních látek. Jde o přípravky obsahující funkční skupiny, které mohou reagovat s materiálem zátěru nebo pojídkem a jejich aktivita klesne po fixaci zátěru. Jakmile proběhne proces smáčení při aplikaci zátěru, povrchově aktivní látka není dále v systému potřebná [22].

2.3.2 Teorie adheze

2.3.2.1 Rovnovážný kontaktní úhel

Pokud je kapka kapaliny umístěna na hladký povrch pevné látky, kapalina se buď rozestře a vytvoří tenký film na povrchu nebo vznikne tvar přisedlé kapky. Přisedlá kapka svírá s povrchem kontaktní úhel (obr. 2.12). Velikost kontaktního úhlu závisí na rozložení sil mezi pevnou látkou a kapalinou a povrchovým napětím kapaliny. Rovnovážný kontaktní úhel představuje významný parametr jednoduše experimentálně zjistitelný, který umožňuje stanovit termodynamickou veličinu – adhezni práci.

Young předpokládal, že kontaktní úhel reprezentuje vektorovou rovnováhu tří složek, povrchového napětí pevné látky na vzduchu (σ_{SG}), povrchové napětí kapaliny v rovnováze s parou (σ_{LV}) a mezifázové napětí mezi kapalinou a pevnou látkou (σ_{SL}). Silová rovnováha je dána rovnicí (23) [19].

$$\sigma_{SG} = \sigma_{LV} \cos \theta + \sigma_{SL} \quad (23)$$

σ_{SG}povrchová energie pevné látky [$J.m^{-2}$]

σ_{LV}povrchové napětí kapaliny [$N.m^{-1}$]

θkontaktní úhel [deg]

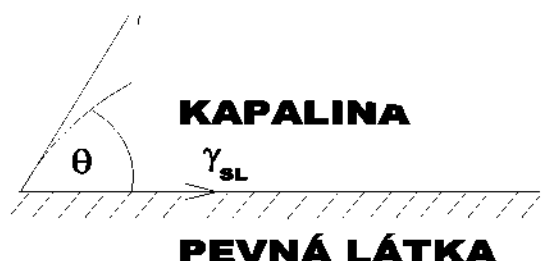
σ_{SL}mezipovrchové napětí kapalina-pevná látka [$N.m^{-1}$]

Na teoretické úrovni je rovnice akceptovatelná, nicméně prakticky není povrchová energie pevné látky definovaná správně. Rovnice může být napsána jako silová nebo energetická rovnováha, protože povrchové napětí vztažené na jednotku délky si vyžádá vynaložení energie té samé číselné hodnoty když způsobí vznik jednotkové plochy nového povrchu.

Harkins a Livingston připustili, že Youngova rovnice musí být korigována, když povrch pevné látky je pokryt adsorbovaným filmem páry. Složka pevná látka – „plyn + pára“ γ_{SV} je menší než složka γ_{SG} . Harkins a Livingston zavedli parametr π , aby indikovali tuto redukci (24) [21].

$$\sigma_{SV} = \sigma_{SG} + \pi e \quad (24)$$

πeparametr korigující adsorpci par na povrchu pevné látky [N.m⁻¹]



Obr. 2.12: Rovnováha kontaktního úhlu povrchu a mezifázových napětích. Na obrázku γ_{SG} koresponduje k σ_{SG} , γ_{SL} koresponduje k σ_{SL} a γ_{LV} koresponduje k σ_{LV} [22].

Modifikovaná Youngova rovnice pak má tvar (25) [22].

$$\sigma_{SG} = \sigma_{LV} \cos \theta + \sigma_{SL} + \pi e \quad (25)$$

Adhezní práce W_a je termodynamická práce potřebná k oddělení kapaliny od pevné látky bez vystupující dodatečné práce jako viskózní nebo elatická deformace buď kapaliny nebo pevné látky. Duprému se připočítává definice adhezní práce (26). Pokud je kapalina oddělena od pevné látky, vzniknou nová rozhraní kapalina-plyn a pevná látka-plyn (obr. 2.13).

Duprého rovnice má tvar (26) [19, 20].

$$W_a = \sigma_{LV} + \sigma_{SG} - \sigma_{SL} \quad (26)$$

W_aadhezní práce [J.m⁻²]

Kombinací rovnice (25) a (26) vzniká rovnice (27) [20].

$$W_a = \sigma_{LV} (1 + \cos \theta) + \pi e \quad (27)$$

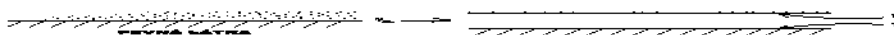
Za určitých okolností je πe zanedbatelné a rovnice (27) se dá zjednodušit na tvar originální Young-Duprého rovnici (28) [19, 20].

$$W_a = \sigma_{LV} (1 + \cos \theta) \quad (28)$$

Adhezní práci je pak možné stanovit měřením povrchového napětí kapaliny a kontaktního úhlu, přičemž γ_{SG} nemusí být známo [22]. Metodika měření kontaktních úhlů optickým způsobem je popsána v [10, 11]. Principem je mikroskopické snímání interakce kapaliny s textilním materiálem s následným zpracováním softwarem analyzujícím obraz.

Zisman a jeho spolupracovníci se zasloužili o významný přínos ve sledování kontaktních úhlů kapalin na pevných látkách. Zjistili, že když se povrchové napětí série kapalin vynese proti kosinům jejich kontaktních úhlů na daném pevném povrchu, vzniká přibližně rovná přímka [19]. Hodnota povrchového napětí u které přímka protíná ordinátu (tj. kde $\cos\theta=1$ nebo $\theta=0$) byla označena jako kritické povrchové napětí γ_c .

Kritické povrchové napětí pevné látky je nejvyšší povrchové napětí mezi povrchovými napětími kapalin, které se bude rozestírat na povrchu.



Obr. 2.13: Grafické vysvětlení veličiny adhezní práce. Na obrázku γ_{SG} koresponduje k σ_{SG} , γ_{SL} koresponduje k σ_{SL} a γ_{LV} koresponduje k σ_{LV} .

2.4 Aplikace zátěrové technologie v automobilovém průmyslu

2.4.1 Akustika v automobilovém průmyslu

Všechny materiály mají určité akustické vlastnosti a mohou zvuk absorbovat, odrážet nebo může docházet k jeho průchodu materiálem. Akustické materiály jsou takové, které dokáží zvuk ve velké míře absorbovat, aniž by docházelo k jeho odrazu.

Akustika patří k jedné z kritických vlastností materiálů určených pro automobilový průmysl. Existuje celá řada produktů vhodných pro zvýšení akustické absorpce s různým stupněm efektivity. Jedná se např. o rohože, spreje, pěny a výplně.

Výrobci automobilů stanovují tzv. targety pro akustickou pohltivost, které nesmí být jednotlivými dodavateli interiérových dílů překročeny. Typickými interiérovými díly jsou stropní panely, dveřní výplně, koberce, sedačky a obložení sloupků [15].

Je známo, že vliv na akustickou pohltivost má zejména tloušťka a hustota materiálů [16]. Vyšší hodnoty těchto parametrů poskytují i vyšší pohltivosti.

Alternativou může být využití zátěrové technologie, aplikované na textílii určenou do interiéru automobilu. V [9] je řešena problematika akustické absorpce stropních panelů. Je uveden postup úpravy textilního dekoru zátěrovou technologií používaného při výrobě stropních panelů.

2.4.2 Akustická absorpce

Akustická pohltivost představuje schopnost materiálu pohltit část dopadajícího akustického výkonu. Mění se s frekvencí a je označována písmenem α , přičemž může nabývat hodnot od 0 do 1. V praxi se lze setkat i s pohltivostí větší než 1, ale to bývá zapříčiněno zvětšenou plochou povrchu vzorku různým tvarováním (výstupky nebo vlny).

Dříve se akustická pohltivost zjišťovala v dozvukové místnosti z doby dozvuku. Touto metodou lze stanovit střední akustickou pohltivost materiálu, jímž je dozvuková místnost obložena, ale tato metoda má nevýhodu v upevňování a montáži vzorků na strop nebo stěny místnosti. Z popsanych důvodů se používá pro měření akustické pohltivosti impedanční trubice. Jedná se o kovovou trubici s reproduktorem, sloužícím jako zdroj zvukových vln. Trubice je opatřena otvory pro vkládání mikrofonů a otvorem pro vkládání vzorku. Dvumikrofonová metoda měření akustické pohltivosti je založena na rozkladu širokopásmového náhodného signálu do signálu ze zdroje a signálu odraženého.

Zvukový signál je vytvářen reproduktorem a rozklad signálu na signál ze zdroje a odražený signál je zjišťován ze závislosti mezi akustickými tlaky, které jsou měřeny dvojicí mikrofonů umístěných v trubici. Ze signálů od zdroje a z odraženého signálu měřených jako akustické tlaky dvěma mikrofony v daných pozicích jsou vypočteny tři frekvenční funkce [16].

H_1frekvenční přenosová funkce

H_ifrekvenční přenosová funkce spojená se složkou signálu od zdroje

H_rfrekvenční přenosová funkce spojená se složkou odraženého signálu

Využitím těchto funkcí lze provést výpočet komplexního koeficientu odrazivosti (R) podle rovnice (29) [16].

$$R = \left(\frac{H_1 - H_i}{H_r - H_1} \right) e^{j2k(l+s)} \quad (29)$$

Rkomplexní koeficient odrazivosti [-]

kvlnové číslo [m^{-1}]

lvzdálenost mezi prvním mikrofonom a přední stranou vzorku [m]

svzdálenost mezi měřicími mikrofony [m]

Z koeficientu odrazivosti R lze provést výpočet normalizovaného impedančního poměru ($z/\rho c$) a koeficientu akustické pohltivosti (α) podle (30) a (31).

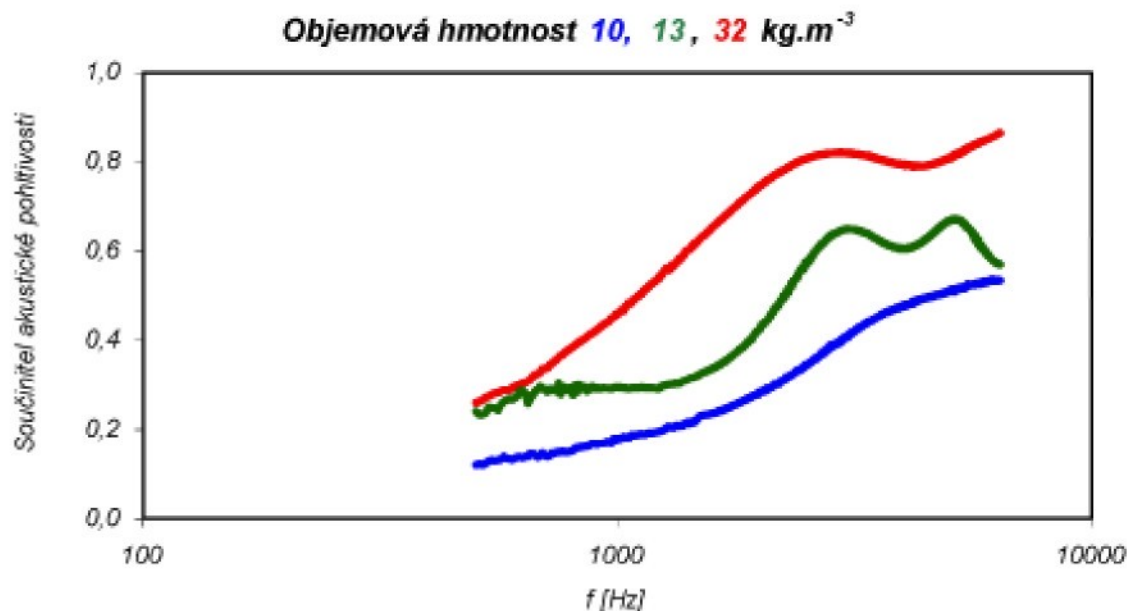
$$\frac{z}{\rho c} = \frac{1+R}{1-R} \quad (30)$$

$$\alpha = 1 - |R|^2 \quad (31)$$

Měření akustické pohltivosti dvumikrofonovou metodou předpokládá šíření rovinných vln a žádné účinky energie způsobené pohltivostí stěn trubice. Tato zjednodušení jsou zavádějící pouze v případě vzorků s nízkou akustickou pohltivostí (0.01 – 0.1). Tato chyba je odstranitelná opakovaným měřením.

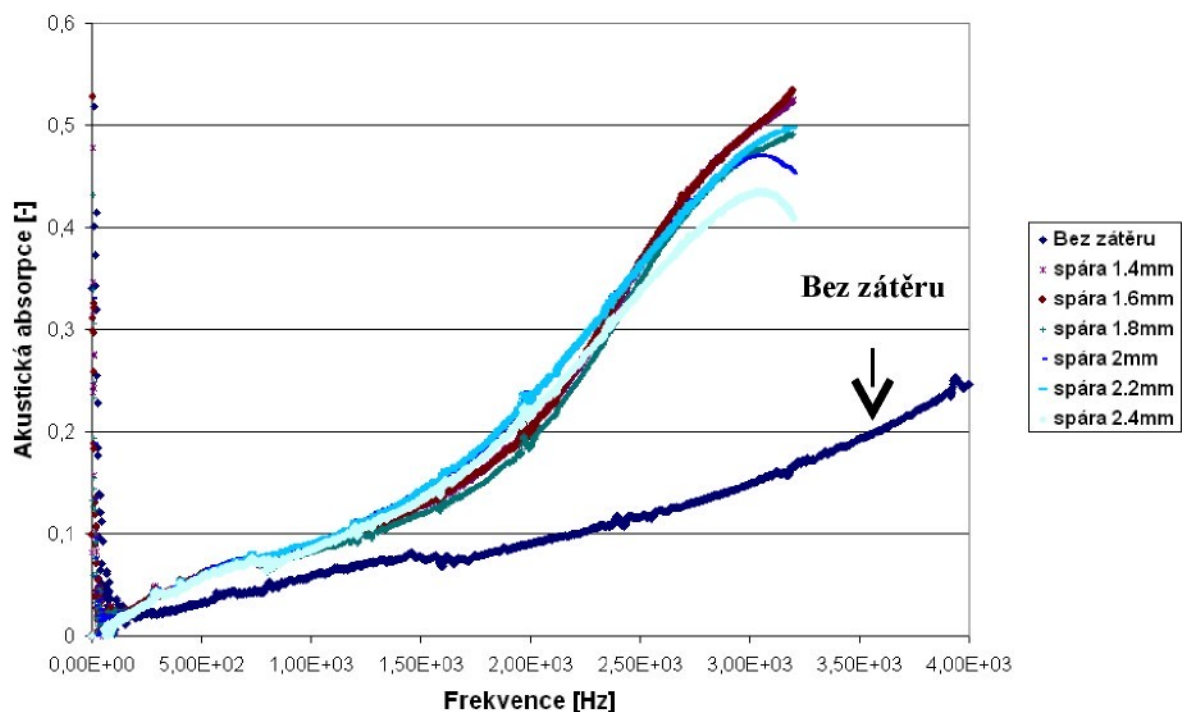
2.4.3 Vztah mezi parametry zátěru a akustikou

V [16] je řešena problematika akustických vlastností netkaných textilií. Je zde konstatováno, že akustická pohltivost je ovlivněna především hustotou materiálu a dále charakterem distribuce vláknenného materiálu uvnitř textilie. Jak plyne z obr.2.14, nárůst pohltivosti při vyšších hustotách je zřejmý.



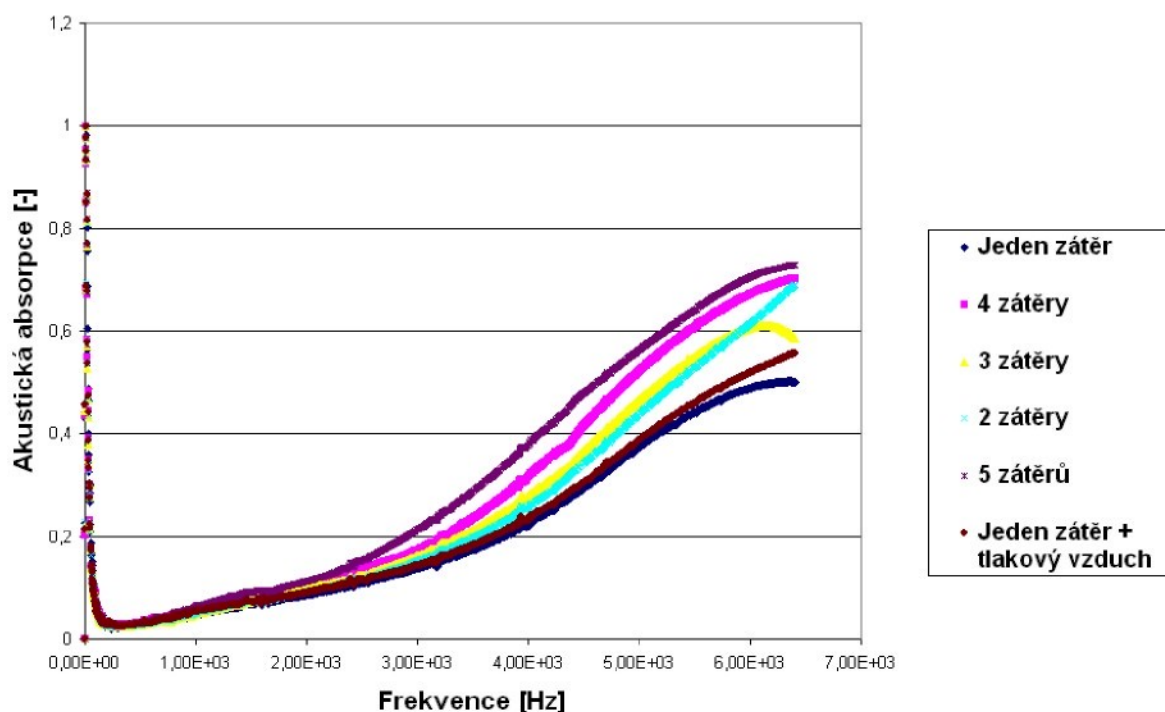
Obr. 2.14: Vliv objemové hmotnosti na akustickou pohltivost [16].

Aplikací polymerního zátěru do struktury a na povrch textilního materiálu lze dosáhnout také významného zvýšení akustické pohltivosti. V [9] je řešen případ kombinovaného akrylátového a polyuretanového zátěru, který byl nanášen na „mali-vliesovou“ textilií používanou jako dekorový materiál při výrobě stropních panelů do osobních automobilů. Na obr. 2.15 je porovnán materiál bez zátěru s materiálem s různým stupněm zátěru charakterizovaným v tomto případě vzdáleností stěrky od textilního substrátu.



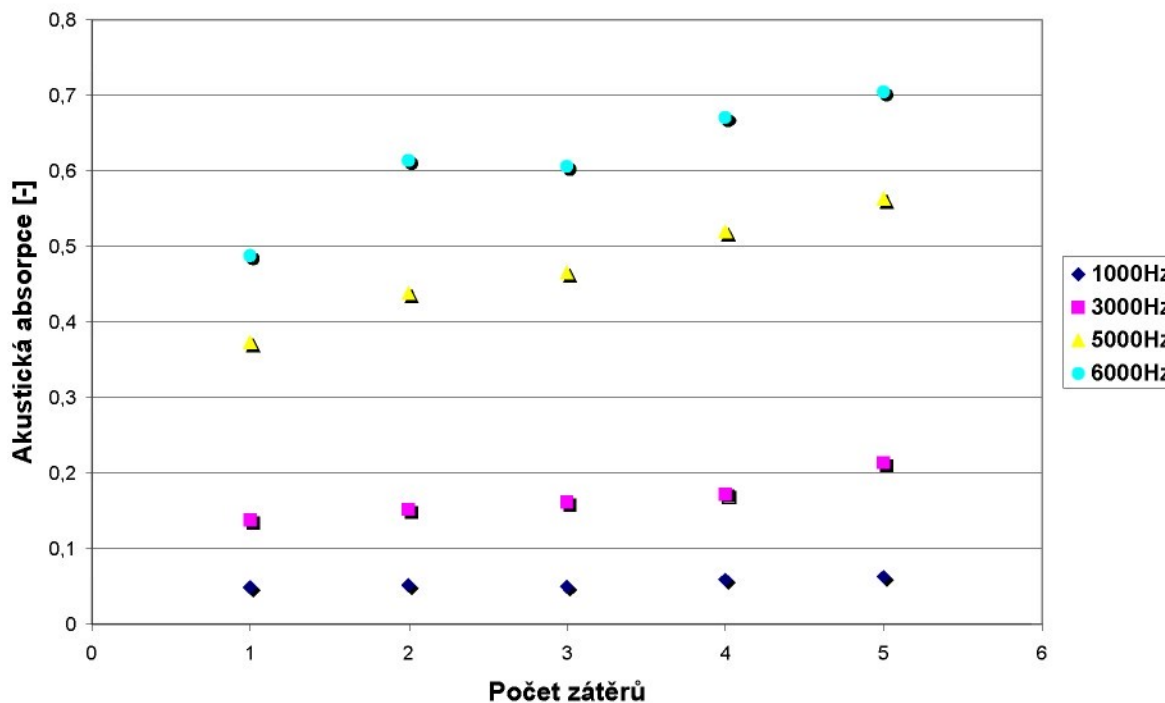
Obr. 2.15: Porovnání akustické pohltivosti mezi textilií bez zátěru a s různým stupněm zátěru. Hodnoty 1.4mm až 2.4mm charakterizují vzdálenost stěrky od substrátu [9].

Jak již bylo popsáno v kapitole 2.1, zvyšování viskozity přináší také nepatrné zvyšování akustické absorpce, které se projevuje od hodnoty absorpce cca 4 kHz (obr. 2.4). Významněji ovlivňuje tento parametr násobný zátěr, jak je znázorněno na obr. 2.16 [9].



Obr. 2.16: Vliv počtu zátěrů na akustickou absorpci [9].

Na obr. 2.17 je znázorněn tento vliv při různých frekvencích zvuku.



Obr. 2.17: Vliv počtu zátěrů na akustickou absorpci při různých frekvencích zvuku [9].

3 Charakteristika publikací

Předkládaná habilitační práce vychází z řady publikací, které popisují zátěrový proces a metodiku testování povrchových vlastností textilií. Publikační činnost lze rozdělit ve vztahu k habilitační práci na tyto kategorie:

1. **Vliv viskozity na funkční parametry zátěru – kapitola 2.1 – publikace [6, 9]**
2. **Vliv parametrů zátěrové linky na tloušťku a množství zátěru – kapitola 2.1 a 2.2 – publikace [7]**
3. **Simulace zátěrového procesu – kapitola 2.2 - publikace [8]**
4. **Povrchové a adhezní vlastnosti materiálů – kapitola 2.3– publikace [10, 11]**
5. **Akustické zátěry pro průmyslovou aplikaci – kapitola 2.4 – publikace [9]**

4 Seznam publikační činnosti

článek v zahraničním časopise

[1] Odvárka, J. - **Dembický, J.** - Wiener, J. - Kovačič, V.: Water-Repellent Finishing of Textiles, Characteristics of Interfaces and Mechanical Parameters, *Vlákna a textil* 9, 2/2002, s. 58-65.

[2] **Dembický, J.:** Netzung der Fasern, *Melland Textilberichte* 84, 2003, 5, 398-400

[3] **Dembický, J.,** Wiener, J.: Bestimmung der Kontaktwinkel von Flüssigkeiten beim Kontakt mit Textilfasern, *Melliand Textilberichte* 86, 2005, 6, 420-422

[4] **Dembický, J.:** Hydrophobe und wärmebeständige Beschichtungen, *Textilveredlung* 5/6, 43. Jahrgang, s. 18-21, 2008, Einsiedeln CH, ISSN 0040-5310

[5] **Dembický, J.,** Jain, S., Charaya, V.: Characteristics of coating process, *Fibers and Textiles*, 4/2008, Bratislava – přijato k publikaci (termín 10/2008)

[6] **Dembický, J.:** Akustische Textilbeschichtungen in Fahrzeuginterieurteilen, *Technische Textilien*, Frankfurt am Main, 2008 – přijato k publikaci (termín 11/2008)

[7] **Dembický, J.:** Simulation of coating process, *Fibers and Textiles in Eastern Europe*, 2008 – recenzováno redakcí časopisu

příspěvek ve sborníku zahraniční či mezinárodní konference

[1] **Dembický, J.**, Wiener, J.: Wetting analysis of plain surfaces and fibers, 3rd International Conference Textile Science '98, TU Liberec, květen 1998, s.154, ISBN 80-7083-289-4

[2] **Dembický, J.**, Wiener, J.: Impact of basic dyestuffs on surface properties of PAN fibres, Textile Science for XXI Century, červen 1999, Portugalsko, ISBN 80-7083-348-3

[3] **Dembický, J.**, Wiener, J.: Influence of dying on surface characterisation of PAN fibres, Chemistry life, Brno, září 1999

[4] **Dembický, J.**, Wiener, J., Fikerová, L.: Contact angle measurement on textile fibers, 4th Central European Conference 2005, 7 – 9 September 2005, Liberec, Czech Republic, ISBN 80-7083-967-8

[5] Benaglia, G., **Dembický, J.**, Wiener, J.: Enzymatic modification of wool fibers, Textile Conference Ljubljana, 2006

příspěvek ve sborníku domácí konference

[1] Odvárka, J. - **Dembický, J.** - Wiener, J. - Kovačič, V.: Hydrofobní úpravy textilií, vlastnosti mezifází a mechanické parametry, 4.seminář Strutex, TU Liberec, prosinec 1997, s.72, ISBN 80-7083-267-3

[2] Wiener, J., **Dembický, J.**: Vzlínavost kapalin ve vlákenných útvarech, 5.pracovní seminář Strutex, TU Liberec, prosinec 1998, s.197, ISBN 80-7083-321-1

[3] **Dembický, J.**, Wiener, J.: Vliv barvení a chemického namáhání na povrchové vlastnosti polyakrylonitrilových vláken, Transfer '99, Brno, červen 1999, s.11-19, ISBN 80-214-1341-7

[4] **Dembický, J.** : Trendy finálních úprav textilií, Veletrh Styl Brno 2008, ISBN-978-80-7372-303-3

[5] Militký, J., **Dembický, J.** : Nové materiály v textilu II, Textilie v novém tisíciletí VI, 2008, ISBN 978-80-7372-324-8

[6] **Dembický, J.** : Speciální finální úpravy textilií, Textilie v novém tisíciletí VI, 2008, ISBN 978-80-7372-324-8

5 Použitá literatura

- [1] Tracton, A.A.: Coatings Technology Handbook, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006, Boca Raton, ISBN 1-57444-649-5
- [2] Sen, A.K., Tech, M.: Coated Textiles, Technomic Publishing Company, © 2001, Pennsylvania, ISBN 1-58716-023-4
- [3] Schindler, W.D., Hauser, P.J.: Chemical finishing of textiles, CRC Press, Cambridge, England 2004, Woodhead Publishing ISBN 1 85573 905 4, CRC Press ISBN 0-8493-2825-X
- [4] Storfer, S.J.: J.Coating Technol., 60, 37, 1988
- [5] Frederickson, A.J.: Principles and Application of Rheology, Englewood Cliffs, NJ:Prentice Hall, 1964
- [6] Dembický, J.: Hydrophobe und wärmewiderstandsfähige Beschichtungen, Textilveredlung 5/6, 43.Jahrgang, s. 18-21, 2008, Einsiedeln CH, ISSN 0040-5310
- [7] Dembický, J., Jain, S., Charaya, V.: Characteristics of coating process, Vlákná a Textil, 4/2008, Bratislava – **přijato k publikaci**
- [8] Dembický, J.: Akustische Textilbeschichtungen in Fahrzeuginterieurteilen, Technische Textilien, 2008 – **přijato k publikaci**
- [9] Dembický, J.: Simulation of knife over roll coating process, Fibers and Textiles in Eastern Europe, 2008 – **právě recenzováno redakcí časopisu**
- [10] Dembický, J.: Messung der Netzfähigkeit von Fasern, Melland Textilberichte 84, 2003, s. 398-400, Frankfurt am Main
- [11] Dembický, J., Wiener, J.: Bestimmung der Kontaktwinkel von Flüssigkeiten beim Kontakt mit Textilfasern, Melland Textilberichte 86, 2005, s. 420-422, Frankfurt am Main
- [12] Dembický, J., Bachurová, M.: Surface characteristics testing of flat textile substrates, Strutex 2008 –**přijato k publikaci**
- [13] Dembický, J.: Possibilities of coating technology, Strutex 2008 – **přijato k publikaci**
- [14] Miles, D.C.: Dry powder bonding in automotive trim laminates, JCF, vol 24, 1995, s. 250-267
- [15] Hopkins, J.: A comparative analysis of laminating automotive textiles to foam, JCF, vol 24, 1995
- [16] Novák, J., Kalinová, K.: Měření akustické pohltivosti, Technická diagnostika strojů a výrobních zařízení – DIAGO 2004. Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0465-4. LN00B073
- [17] Hwang, S.S.: Chemical engineering science, vol. 14, pp. 181-189, 1979
- [18] Zisman, W.A.: Ind.Eng.Chem., 55, 18, 1963
- [19] Drago, R.S.: J.Am.Chem.Soc., 99, 3203, 1977
- [20] Girifalco, L.A.: J.Phys.Chem., 61, 904, 1957
- [21] Fowkes, F.M.: J.Phys.Chem., 66, 382, 1962
- [22] Adamson, A.W.: Physical chemistry of surfaces, 4th ed. New York, Wiley, 1982
- [23] Mackenzie, K.J.: Film and sheeting materials, Encyklopedia of chemical technology, 4. vydání, vol. 10, John Wiley, New York 1993, s. 761-787
- [24] Brydson, J.A.: Flow properties of polymer melts, Ltd. 1981
- [25] Park, R.A.: Spread coating processes, Plastisols and organosols, New York, 1972

Hydrophobe und wärmewiderstandsfähige Beschichtungen

Die Textilbeschichtungen stellen einen Technologieprozess dar, der im Bereich der Textilindustrie sehr bedeutend ist. Die Beschichtungsparameter, wie Viskosität und Komponentenkonzentration, sind in dieser Arbeit die betrachteten Größen. Die Arbeit ist konzentriert auf hydrophobe Beschichtungen, wo eine Abhängigkeit der schon erwähnten Parameter von hydrophoben Parametern des Textilmaterials festgestellt wurde. Im nächsten Teil der Arbeit wurde eine Aluminiumbeschichtung appliziert und die Abhängigkeit der Beschichtungsparameter von Wärmebeständigkeit betrachtet. Für die Experimente wurde die Beschichtungsanlage Basecoater von der Firma Coatema verwendet.

Dr.Ing. Josef Dembický

Technische Universität in Liberec (CZ), Fakultät für Textiltechnik

1. Einführung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Applizierung von nasser Beschichtung auf Polyestergewebe mit relativ dichter Struktur. Die Ergebnisse sollten dem Produzenten wichtige Hinweise über die Technologie-Parameter geben. Es geht um den Zusammenhang der Beschichtungsparameter und der auf dem Textilgewebe erzielten Effekt. Es wurden zwei Beschichtungstypen betrachtet und analysiert. Im ersten Fall ist es eine hydrophobe Beschichtung und die zweite Beschichtung ist auf Basis Aluminium und bietet eine wärmewiderstandsfähige Wirkung.

2. Wassersabweisende Beschichtung

2.1 Verfahren

Hydrophobe Unterausrüstung:

- Itoguard LJ 415, Fluorcarbonmittel – 10g/l
- Itoguard LJ 100, Fluorcarbonmittel – 10g/l
- Eisessigsäure 1 ml/l
- Applikation – Foulard, Trocknung 120°C/ 2Min

Beschichtung:

- Performax 16143 G Mittel auf Acrylatbasis – 450g/kg
- Rolflex SW3 Polyurethanmittel – 450 g/kg
- Lambicol L 491 Acrylatverdünnungsmittel – Konzentrationen 3,5 – 6 – 10 g/kg
- Wasser 95 – 80 g/kg

Pastevorbereitung:

Das Verdickungsmittel wurde erst nach Vermischung von anderen Komponenten zugegeben, das Dosieren ist je kleine Mengen appliziert, am besten direkt unter den Mischer, damit man die Klumpenbildung vermeidet. Die Paste muss ausreichend lange gemischt werden, um glatt zu werden.

Für die Beschichtungsapplikation wurde die Anlage Basecoater von der Firma Coatema verwendet. In der Abb. 1 ist die Anlage detailliert beschrieben.

2.2 Experiment und Ergebnisse

2.2.1 Einfluss der Rheologie auf die Beschichtung

Im experimentellen Teil wurden 3 Muster mit konstanter Konzentration des Mittels für die hydrophobe Unterausrüstung mit verschiedener Konzentration des Verdickungsmittels vorbereitet. Vor dem Auftrag der Beschichtungspaste auf Gewebe wurden rheologische Eigenschaften der Paste vermessen. Die Ergebnisse sind in der Abb. 2 dargestellt.

Parallel wurden auch Muster mit Doppelbeschichtung der gleichen Parameter vorbereitet. Auf allen Mustern wurde dann Wassersäule gemessen und die Abhängigkeit der Rheologie der Beschichtungs-

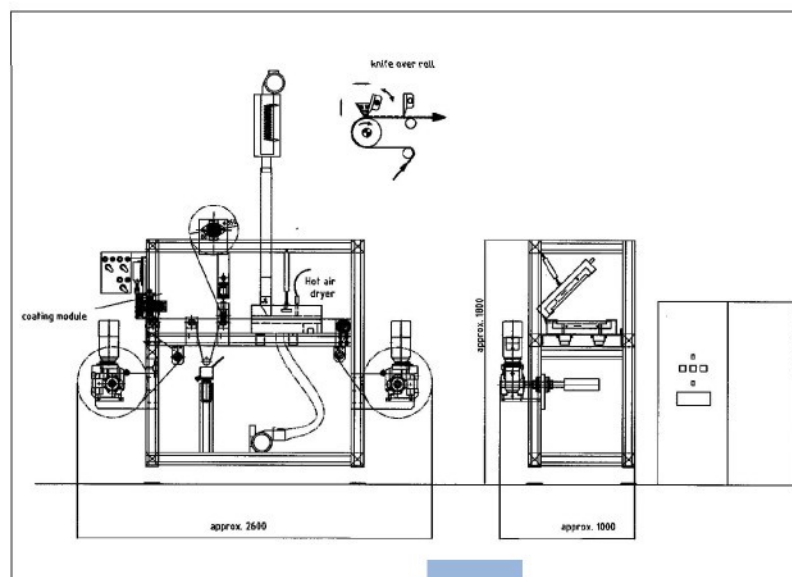


Abb. 1: Basecoater für die Applikation der Beschichtung [1].

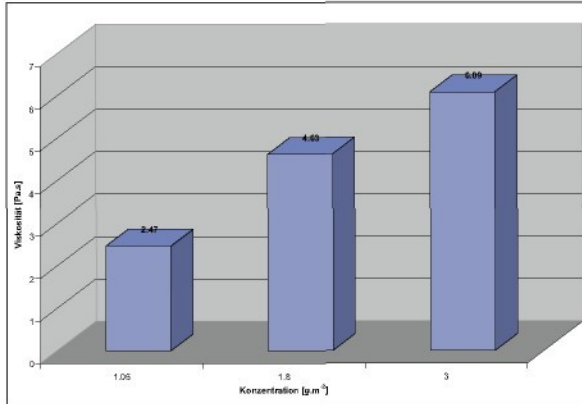


Abb. 2: Rheologische Eigenschaften der Beschichtungspaste bei verschiedenen Verdickungsmittelkonzentrationen.

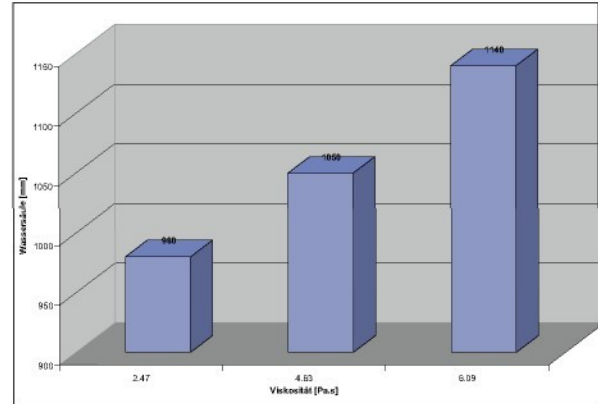


Abb. 3: Einfluss der rheologischen Eigenschaften der Beschichtungspaste auf die Wassersäulewerte.

paste vom hydrophoben Effekt der Beschichtung festgestellt (Abb. 3). Vergleich der Einzel- und Doppelbeschichtung wurde auch analysiert (Abb. 4).

2.2.2 Einfluss der Unterausrüstung auf den wasserabweisenden Effekt

In diesem Teil der Arbeit wurden verschiedene Konzentrationen der Fluorcarbonmittel bei der Unterausrüstung benutzt. Ohne dass die Beschichtung aufgetragen ist, wurden die Muster mit der Unterausrüstung mit Wassersäule getestet. Dieses Experiment sollte feststellen, wie groß der Einfluss der Unterausrüstung auf die Wassersäulewerte ist. Die Ergebnisse sind in der Abb. 5 dargestellt.

3. Aluminiumbeschichtung

3.1 Verfahren

Zusammensetzung der Beschichtungspaste:

- Entschäumungsmittel NI 50g/kg *
- Aluminiumkonzentrat 50 - 100 g/kg
- Binder Sokrat 1906 510 - 560 g/kg
- Verdickungsmittel Sokrat 44 80 g/kg
- Binder Hycar T122 210 g/kg
- Verdickungsmittel Tosil N20 50 g/kg

Die Paste wurde nachher mittels Basecoater auf das Textilgewebe aufgetragen und mit einer Temperatur von 150 °C 1 Minute fixiert.

Bei der Beschichtung wurden 4 Muster mit Aluminiumkonzentration 50 – 60 –

70 – 100 g pro 1kg des Textilmaterials vorbereitet.

*die Konzentration g/kg bedeutet g des Mittels pro 1 kg des Textilmaterials

3.2 Experiment und Ergebnisse

Das Ziel dieser Arbeit bestand darin festzustellen, inwieweit die Konzentration der aktiven Aluminiumkomponente in der Beschichtung einen Einfluss auf die Wärmewiderstandsfähigkeit des Materials hat. Es wurden 4 verschiedene Konzentrationen benutzt und nach dem Technologieauftrag der Beschichtung wurden die Muster getestet.

Als Messmethode wurde Emissivitätsfestlegung gewählt. Das Muster ist auf eine Fläche mit bekannter Temperatur gelegt und die Emissivität wird mit

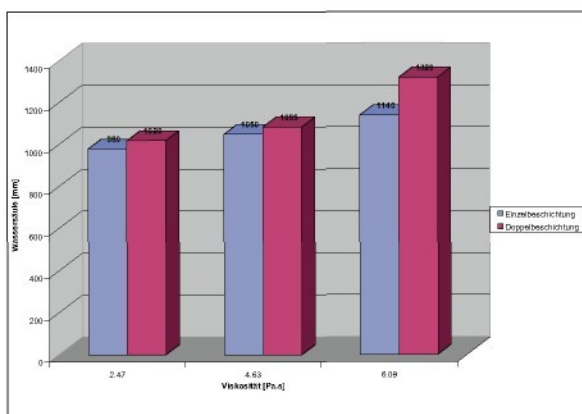


Abb. 4: Vergleich der Einzelbeschichtung mit Doppelbeschichtung.

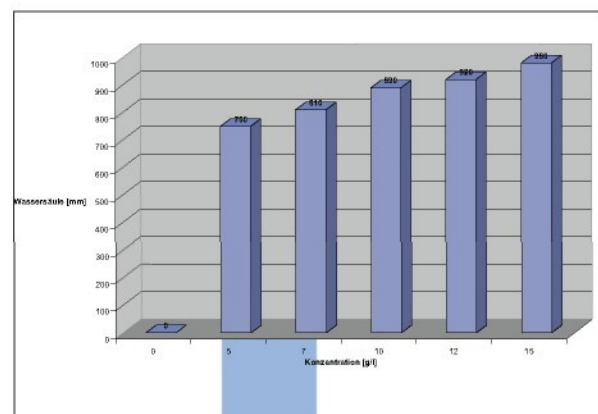


Abb. 5: Einfluss der Konzentration der Fluorcarbonmittel der Unterausrüstung auf die Wassersäulewerte.

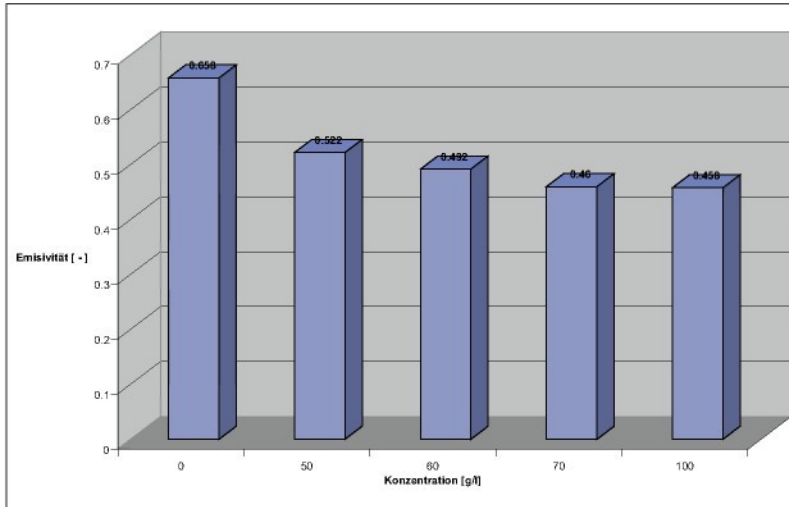


Abb. 6: Die Abhängigkeit der Emissivität von der Konzentration der Aluminiumkomponente in der Beschichtung.

einem speziellen Thermometer durch eine Temperaturmessung auf der anderen Musterseite gemessen.

Die Emissivität (Strahlungszahl) ist definiert als das Verhältnis der vom Testmaterial aufgenommenen Energie zum Energiewert, der vom Muster mit schwarzer Oberfläche bei der identischen Temperatur und den identischen Bedingungen absorbiert würde [2].

Emissivität hängt von diesen Parametern ab:

- Materialtemperatur
- Oberflächenschicht des Materials
- Wellenlänge der Energie

Zur Festlegung der Emissivität ist erforderlich die Oberflächentemperaturen zu kennen. Ein alternativer Parameter zur Emissivität ist Reflexionsfähigkeit und die Beziehung zwischen diesen zwei Größen lautet:

$$\text{Emissivität} - \text{Reflexionsfähigkeit} = 1$$

Abb. 6 stellt die Emissivitätswerte in der Abhängigkeit von der Konzentration der Aluminiumkomponente.

4. Abschluss

Eigenschaften der wasserabweisenden Beschichtung mit Bezug auf die Beschichtungseffektivität wurden festgestellt. Es ist bedeutend, dass die

Viskosität der Beschichtung im Rang von 3,5 bis 10g der Verdickungsmittel / kg der Beschichtung nur einen geringen Einfluss auf die Wassersäulewerte hat. Der Unterschied zwischen 3,5g und 10g der Verdickungsmittel bewegt sich um 160 mm der Wassersäule im Fall der Einzelbeschichtung.

Doppelbeschichtung erhöht den Effekt bis um 15% im Fall der höchsten Verdickungsmittelkonzentration.

Es wurde festgestellt, dass einen großen Einfluss auf den hydrophoben Effekt schon die Unterausrüstung auf Basis Fluorcarbonmittel hat. Bei der Einsatzkonzentration 10g/l im Bad, die auch bei der Beschichtungsapplikation verwendet wurde, wurden Wassersäulenwerte um 890 mm gemessen.

Im Rahmen der Technologie ist hiermit bewiesen, dass die rheologischen Eigenschaften bei technologisch applizierten Mengen keine signifikante Rolle spielen und die Effektivität ist schon sehr deutlich mit der Ausrüstung erzielt.

Die Emissivität bei den wärmebeständigen Beschichtungen sinkt nach der Beschichtung mit einer Konzentration der Aluminiumkomponente um 23% aber dann bleibt sie fast auf der gleichen Ebene im Bereich der technologischen Konzentrationen

50g/kg bis 100g/kg. Deshalb ist zu erwähnen, dass bei der Technologie eine Konzentrationserhöhung über 50g/kg nicht gerechtfertigt ist.

Danksagung: Diese Arbeit wurde durch das Projekt «Výzkumné Centrum Textil II» an der Technischen Universität in Liberec unterstützt.

Ein Literaturverzeichnis kann unter www.textilveredlung.ch abgerufen oder beim Verlag angefordert werden.

CHARACTERISTICS OF COATING PROCESS

Dembický J. ¹, Jain S. ², Charaya V. ²

¹ Technical University of Liberec, Faculty of Textile Engineering, Studentská 2, 461 17 Liberec, Czech Republic, josef.dembicky@tul.cz

² Indian Institute of Technology, Hauz Khas, New Delhi - 110 016

Abstract

In area of technical textiles the coating application is very often. The coating material adds to the fabric special properties like hydrophobity, better strenght, influences surface properties of the material, etc. In this process setting of coating machine parametrs is an important factor and which has an impact on resulting effects of the coating.

Study and analysis of these parametrs are the main activity of this paper. In terms of experience these parameters were chosen and tested on coated fabric: thickness and weight of coating, air flow and water-repellency.

Instead of that detailed theoretical part describing the coating process is high-wrought.

1 Introduction

Coating and printing refers to the process of applying a coating or print to one or both sides of a continuous web substrate, such as roll of fabric. The coating or printing is done sometimes for functional purposes and at other times, for decorative needs.

Coating processes are widely used to enhance and alter the physical properties and appearance of a fabric. Coating and lamination has bridged across virtually every product group in the textile industry, including composites, where its potential is especially wide [1].

Coating processes - From then to now...

In past, emphasis was laid on coated fabrics, basically on gas or liquid permeability and its mechanical properties such as flexibility, tensile strength, tear strength and stretching and shearing properties. Presently, selection of the maximum combination of textile materials, structures and coating compounds for anticipated loading condition is usually based on strength of textile substrate alone [6, 7].

Coated fabric has its specific fields of application and demand. It has found extensive application in fields such as medical substracts, protective clothing, flexible

membranes for civil structures, industrial fabrics and geotextiles. A lack of understanding of interaction between the fiber structure and coating limits our ability to predict undesirable behaviours, such as, tear, wrinkling and distortion etc.

By choosing the right fabric substrate and coating material, the fabric can exhibit desired mechanical properties. We have tried to primarily cover the fundamental understanding of coating process and its property relationship for coated fabrics.

Most fabrics still utilize nylon, polypropylene, polyester, cotton and wool fibers and the bulk of polymer films are still based on polypropylene, polyester and polyethylene. Value added properties such as chemical resistance, anti-stain (or low surface energy release), hydrophilicity, vapour and gas barrier, electrical conductivity and abrasion resistance, may be added to fabrics, by altering the material surface without affecting its overall physical and mechanical properties [1,7].

The main coating processes have been described here with the help of illustrative diagrams to help you understand the each process in detail.

- Gap Coating
- Air knife coating
- Immersion (dip) coating
- Curtain coating
- Rotary screen
- Reverse Roll coating
- Gravure coating
- Metering rod (Meyer bar) coating
- Slot Die (Slot, Extrusion) coating
- Hot Melt coating

2 Coating processes

2.1 *Gap Coating*

This type of coating process relies on a coating being applied to the substrate which then passes through a split between the knife and a support roller (Fig. 1). As the coating and substrate pass through, the excess is peeled off.

This process can be used **for high viscosity coatings and very high coat weights**, such as plastisols and rubber coatings. There are innumerable variants of the relatively simple process which is rugged, hard-working and somewhat inaccurate [7].

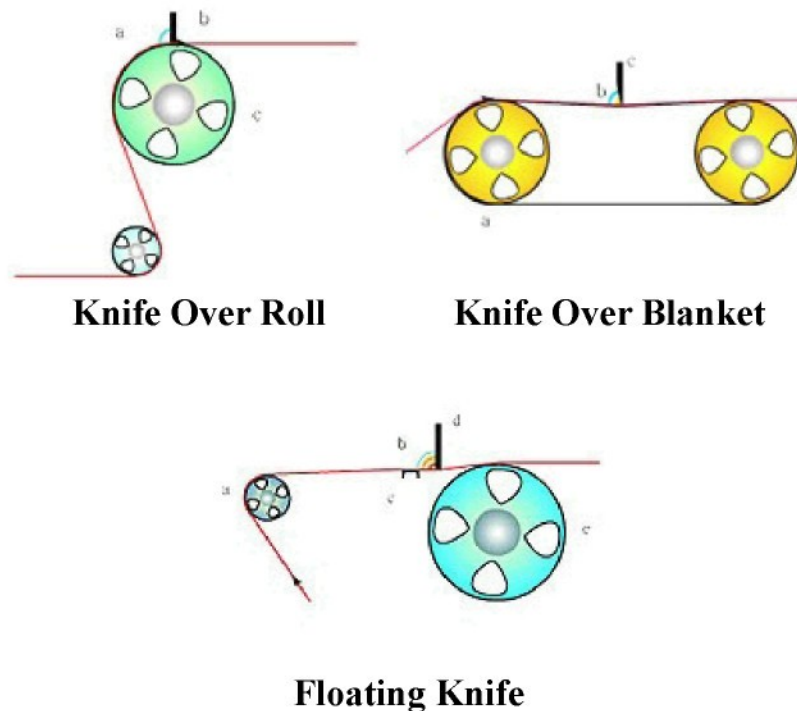
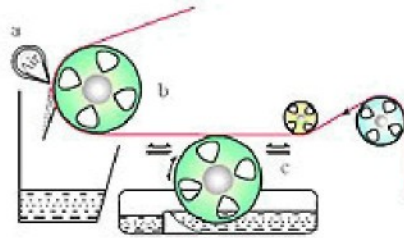


Fig.1: Technologies used in gap coating.

2.1.1 *Air Knife Coating*

A simple process where the coating is applied to the substrate and the excess is 'blown off' by a powerful jet from the air knife [7]. This procedure is typically used for aqueous coatings and is particularly noisy (Fig. 2).

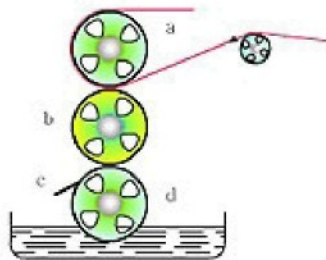


Air Knife Coating

Fig. 2: Air knife coating process.

2.2 *Immersion (Dip) Coating*

In immersion coating process, the substrate is dipped into a bath of the coating, which is usually of a low viscosity to enable the coating to run back into the bath as the substrate emerges (Fig. 3). This process is **frequently used on porous substrates** [1].

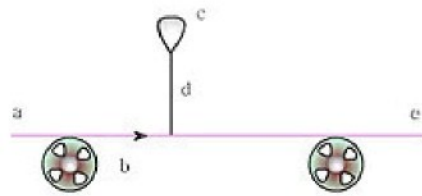


Immersion (Dip) Coating

Fig. 3: Illustration of immersion coating technology.

2.3 *Curtain Coating*

In the curtain coating process, a bath with an aperture in the base allows a continuous curtain of the coating to fall into the gap between two conveyors [7]. The fabric to be coated is passed along the conveyor at a controlled speed and so receives the coating on its upper surface (Fig. 4).



Curtain Coating

Fig. 4: Illustration of curtain coating.

2.4 Rotary screen coating

A tank of coating solution sits inside a cylindrical screen that is pierced by holes where it is desired that the coating is extruded. A thatch pushes the solution through these holes, as the cylinder rotates in contact with the substrate. Complicated patterns are possible while screens are expensive and repeat lengths may be problematic [1].

2.5 Reverse Roll Coating

In reverse roll coating, the coating material is measured onto the applicator roller by precision setting of the gap between the upper metering roller and the application roller below it [7]. The coating is brushed off the application roller by the substrate as it passes around the support roller at the bottom. The diagram illustrates a 3-roll reverse roll coating process, although 4-roll versions are common. In Reverse Gravure Coating, the actual coating material is metered by the engraving on a roller before being wiped off as in a conventional reverse roll coating process (Fig.5).

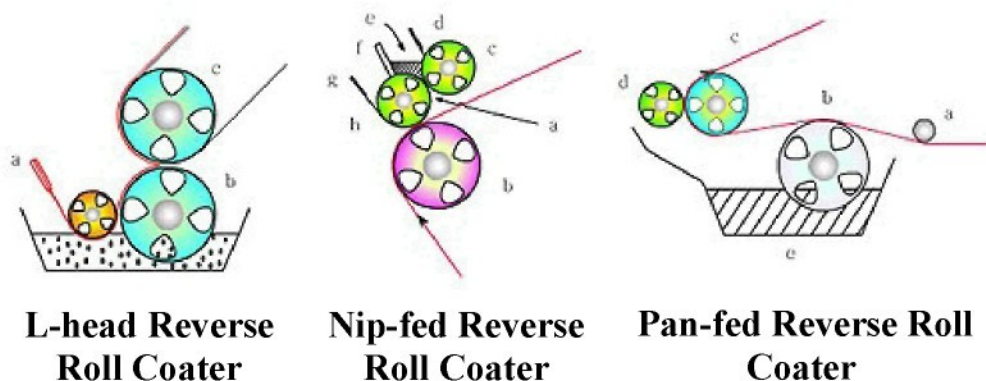


Fig. 5: Reverse roll coating possibilities.

2.6 Gravure Coating

The gravure coating depends on an engraved roller running in a coating bath that fills the imprinted dots or lines of the roller with the coating material. The excess coating on the roller is removed by the doctor blade and the coating is then deposited onto the substrate as it passes through the engraved roller and a pressure roller (Fig.6)

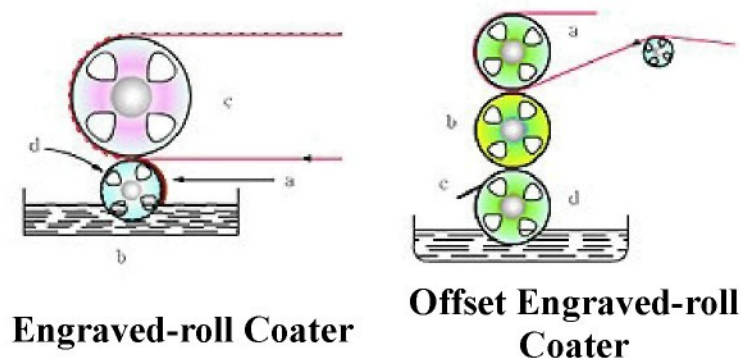


Fig. 6: Gravure coating technology.

Offset gravure is common, where the coating is primarily deposited on an intermediate roller before transfer to the substrate [1, 7].

2.7 Metering Rod (Meyer Bar) Coating

In meter road coating, the wire-wound metering rod sometimes known as a Meyer Bar, allows the desired quantity of the coating to remain on the substrate. The excess coating is deposited onto the substrate as it passes over the bath roller (Fig.7).

The quantity is determined by the diameter of the wire used on the rod. This process is remarkably tolerant of non-precision engineering of the other components of the coating machine [7].

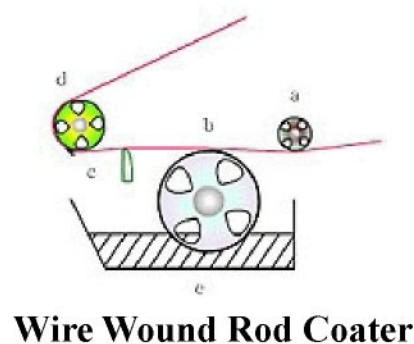
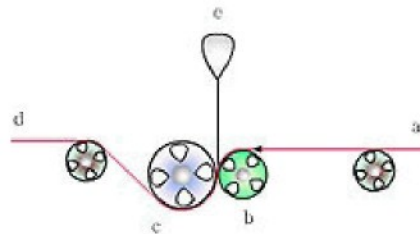


Fig. 7: Illustration of rod coating method.

2.8 Slot Die (Slot, Extrusion) Coating

In the Slot Die process, the coating is squeezed out by gravity or under pressure via a slot and onto the substrate (Fig.8). The process is termed extrusion when the coating is 100% solid. In the Slot die process, the line speed is frequently much faster than the speed of the extrusion. This enables coatings to be considerably thinner than the width of the slot [7].



Melt Extrusion Coater

Fig.8: Demonstration of melt extrusion coater.

2.9 Hot Melt Coating

In hot melt coating process that is applied commercially, low viscosity is required to achieve an even coating by solution or dispersion. In a small number of cases, the desired coating can be melted and applied while still hot. These are hot melt processes.

Most of the actual coating techniques still used are hot-melt slot-die, hot-melt metering-rod etc. Hot-melt wherever possible, brings tremendous advantages in terms of speed, lack of drying tunnel etc. The main limitation is the small number of applications for which suitable coatings are available. Most of these are adhesives.

3 Experimental part

3.1 Material and technology

The substrate used in this work was a cotton fabric with weight 300g/m^2 . For the coating following chemicals were applied - Performax 16143 G (acrylat agent), Rolflex SW3 (polyurethan agent), Lambicol L491 (thickener). The agents Performax and Rolflex were gauged in quantity 450kg/kg of coating paste. The used quantity of Lambicol was 6g/kg of coating paste.

In the experimental part the methodology knife over roll on laboratory machine Basecoater BC 27 from Coatema Corporation (Fig.9) was used for the coating application. The coating paste is gauged on the head coating area to the knife and as the fabric was moved from this area the coating paste was fixed on the fabric surface. After coating application the substrate with paste on the surface was drawn in the heating part and finally wound on the winding roller.

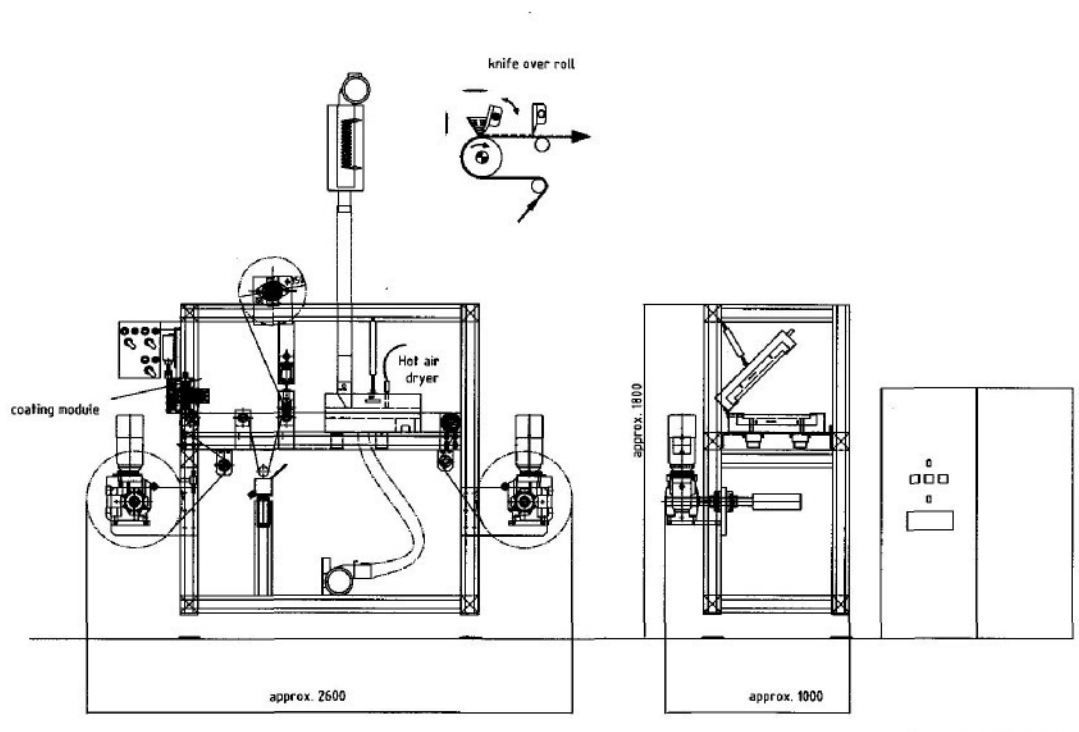


Fig.9: Machine used: BASECOATER BC 27 (Coatema).

The work aim was to analyse impact of knife distance of coating and speed of substrate in coating application on important parameters of the coating applied on textile surface. The changed parameters were knife and roller distance and speed of the machine.

3.2 Testing methods

Following tab.I figures the setting distance values roller / knife. The range was chosen according technical possibilities at the machine. At less distance than 0.7mm the fabric was much stretched and distance over 1.00mm caused thick nonuniform layer on the fabric surface. The machine speed was set up on 0.5 m/min and the temperature in the fixing room on 180 ° C.

Further, the substrate speed in the machine was changed during the production process. Tab.II demonstrates used machine speeds which are in range from 0,2 to 2m/min. Here the knife position was set up on 0.8mm and the temperature in heating room on 180°C again.

Tab.I: The chosen distances roller-knife for the experiments.

Knife adjustment - gaps between roller and knife [mm]				
0.70	0.80	0.85	0.90	1.00

Tab.II: Speed of machine that was selected for the experiments.

Speed of machine [m/min]					
0.2	0.6	0.9	1.2	1.7	2

Tested coating parameters were thickness of substrate with coating layer (mm), air flow (l/hour), water repellency (mm) and weight (g/m²).

Thickness measurement was done on digital equipment SDL M034A according to ČSN EN ISO 5084 (80 0844). Measuring area was 1000 mm².

Air flow measurement was carried out according to DIN 53887. Air flow going through the sample of area 1000mm² is measured. Hydraulic gradient is 196Pa (20mm water column) [4].

In case of water repellency testing the measuring method water column on equipment SDL M018 was used. The pressure is causing on stretched sample and it is increased in sequence. If 3 drops of water are visible on the sample the test is finished. The pressure is expressed in mm of vertical water column [4,5].

Weight was the last measured parameter. For this measurement laboratory balance was used.

4 Discussion

According to expectation with increased distance roller – knife the coating layer thickness increased too. This trend proceeded from distance 0,7mm to 0,9mm. Small decreasing occurred at distance 1.00mm in comparison with less distances (Tab.II). Thickness of coating layer plays a very important role in permeability and water repellency. There is a tendency that the value of thickness is maximal when the distance between knife and roller is kept 0.9 mm but here the standard deviation is higher. This means that coating was not uniform. The thickness at setting 0.8 mm is lesser but the deviation is very small. This implies that the coating is uniform and hence the distance 0.8mm would be a better setting (tab.III).

Tab.III: Thickness results of coating layer at different distance settings between roller and knife.

Thickness [mm]	Distance					
No.	0.7mm	0.8mm	0.85mm	0.90mm	1.00mm	original
1	0.53	0.56	0.58	0.64	0.59	0.53
2	0.53	0.57	0.61	0.62	0.57	0.53
3	0.54	0.57	0.61	0.63	0.60	0.52
4	0.53	0.58	0.65	0.62	0.58	0.53
5	0.56	0.57	0.66	0.59	0.60	0.54
6	0.55	0.57	0.58	0.61	0.57	0.53
7	0.54	0.57	0.58	0.64	0.56	0.54
8	0.55	0.57	0.61	0.65	0.57	0.49
9	0.55	0.55	0.61	0.61	0.56	0.52
10	0.55	0.57	0.61	0.63	0.57	0.53
Mean	0.543	0.568	0.61	0.624	0.577	0.526
SD	0.01	0.007	0.027	0.017	0.014	0.014

The coating used was on water-repellency basis and an aim of this work was to ensure if it is air permeable. As the results represent there was a rapid decreasing of the air flow (Tab.IV). All coating practiced embodied same values, the only coating of 1mm distance was little bit higher in comparison with other coatings that were applied. The differences at 1mm distance could be explained due to nonuniformity of the layer.

Tab.IV: Air flow results of coating layer at different distance settings between roller and knife.

Air flow [l/hour]	Distance					
No.	0.7mm	0.80mm	0.85mm	0.90mm	1.00mm	original
1	4.5	7	7	5	25	1300
2	5	7	5.5	7.5	24	1200
3	4.5	10	6.5	5	19	1200
4	5	7	5.5	5	18	1250
5	5.5	7	7	5	18	1300
6	4.5	12	7	9	17	1100
7	7	14	6.5	7.5	17	1150
8	4.5	7	7	5.5	17	1300
9	5.5	11	7	14	15	1250
10	7	7	7.5	14.5	18	1100
Mean	5.3	8.9	6.65	7.8	18.8	1215
SD	0.98	2.64		3.68	3.19	78.35

After water column measurement (Tab.V) same results was determined. The values were about 100 cm of water column. Herewith, the required hydrophobic effect can be achieved at the less distance – 0.7mm in this case. The difference is to see at the distance 0.9mm where we got 160cm. This difference can be explained by different fabric properties in the coated area.

Tab.V: Water column results of coating layer at different distance settings between roller and knife.

Distance	0.70mm	0.80mm	0.85mm	0.90mm	1.00mm
Water column [cm]	107	108	105	160 (460)	114

The comparison of weight values shows that the decreasing approves oneself at all coats equally (the differences are very small) (Tab. VI).

Tab.V: Weight results of coating layer at different distance settings between roller and knife.

Distance [mm]	0.70	0.80	0.85	0.90	1.0	original
Weight [$\cdot 10^{-2}$ g/cm ²]	2.699	2.972	4.095	3.575	3.004	2.590

In the experimental part where the machine speed was changed the important result is that there is no impact on resulting layer thickness. This parameter remained same in whole range of speed (0.2 to 2m/min) (Tab. VII).

Tab.VII: Thickness results of coating layer at different speed of Basecoater.

Thickness [mm]	Speed [m/min]					
No.	0.2	0.6	0.9	1.2	1.7	2
1	0.61	0.62	0.65	0.61	0.61	0.62
2	0.62	0.63	0.65	0.61	0.60	0.61
3	0.62	0.62	0.65	0.63	0.60	0.62
4	0.62	0.63	0.64	0.61	0.61	0.62
5	0.62	0.62	0.63	0.62	0.61	0.61
6	0.62	0.63	0.63	0.61	0.61	0.61
7	0.61	0.63	0.65	0.62	0.60	0.61
8	0.62	0.62	0.65	0.62	0.60	0.62
9	0.61	0.62		0.62	0.60	0.63
10	0.62	0.64			0.61	0.61
Mean	0.617	0.626	0.644	0.617	0.605	0.616
SD	0.002	0.007	0.009	0.007	0.005	0.007

In the tab.VIII there are mentioned the air permeability values. They are less in comparison with original fabric values as in the previous case. The light difference is negligible.

Tab.VIII: Air flow results of coating layer at different speed of Basecoater.

Air flow [l/hour]	Speed [m/min]					
No.	0.2	0.6	0.9	1.2	1.7	2
1	12	17	25	7	14	14,5
2	17,5	18	23	8	14,5	14,5
3	9	7	31	7,5	14,5	16,5
4	15	17	17	7	8,5	16
5	16	17	10,5	6	14,5	14,5
6	17,5	13	11	7,5	8,5	14
7	7	14,5	21,5	7	10,5	17
8	14	8	10,5	7	14	11
9	14	7,5	9,5	8	14,5	14
10	7	10,5	10,5	7	15	19
Mean	12.9	12.95	16.95	7.2	12.85	15.1
SD	4.01	4.38	87.71	0.59	2.61	2.16

The water column values mentioned in tab. IX have also the same size about 100 cm in all tested coatings.

Tab.IX: Water column results of coating layer at different speed of Basecoater.

Speed [m/min]	0.2	0.6	0.9	1.2	1.7
Water column [cm]	97	101	102	104	96

As showed in tab.X the weight values are more uniform than the values in part „distance roller-knife“. This signs better uniformity of the coating.

Tab.X: Weight results of coating lazer at different speed of Basecoater.

Speed [m/min]	0.2	0.6	0.9	1.2	1.7	2	original
Weight [* 10⁻² g/cm²]	3.042	3.047	3.087	2.956	3.050	3.077	2.590

5 Conclusion

Basic characteristics of coating process were studied and analysed. Knife position and machine speed were the tested setting parameters, which influent the result coating properties. As mentioned in the discussion part, there are several important things, which were analysed in this work.

Air flow decreases on coating the sample. The value has drastically decreased on coating.

Water column was expected to come around 100 cm. It came more than expected. For 0.9 mm setting we got wet lines at around 160 cm but the sample got wetted at 460cm. Thus we got very high water repellence.

The weight measurements represent regularity of the coating. Due to the fact that the coated amounts are very small, the weight differences are negligible.

In the second part of experiments impact of machine speed on coating parameters was ensured. No dependence on thickness was found in this case. It was the basic aim of this measurement part. Next measurements have got similar tendency as the previous one.

References

- [1] W. Fung : Coated and laminated textiles, Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, 2002
- [2] J. Šňupárek, L. Formánek : Vodné disperze syntetických polymerů, Nakladatelství technické literatury, Praha 1979
- [3] Kolektiv autorů : Zušlechťování, SNTL, Praha 1982
- [4] L. Hess, P. Sluka : Úvod do komfortu textilií, Technická univerzita v Liberci, 2005
- [5] Norma ISO 811, Stanovení odolnosti proti pronikání vody – zkouška tlakem vody
- [6] Dušková, M.: Diplomová práce, 2006, TU Liberec
- [7] Coating Technology Handbook, Taylor & Francis Group, Broken Sound Parkway, 2006

Acknowledgement

This work was elaborated by support of the project “Výzkumné Centrum Textil II” at the Technical University of Liberec.

SIMULATION OF COATING PROCESS

Josef Dembický

Technical University of Liberec – Studentská 2 – 461 17 Liberec – Czech Republic

josef.dembicky@tul.cz

Abstract

Coating processes in area of textile production play a significant role. They are used for technical textiles and special protective clothes to achieve characteristic material properties as for example water-repellency, fire resistance, high temperature protection, etc.

In the process a lot of parameters influence the coating layer properties, which are distance between knife and material, speed of coated material running through the production line, coating paste parameters – viscosity, surface tension and density and finally coated material properties – surface energy and roughness.

In this paper a simulation of coating process is introduced and compared with experimental data taken from measurement of coating that was applied by laboratory coating device Basecoater COATEMA.

Introduction

Formation of layer on fabric surface is typical for the coating processes. According to settings of coating machine, coating material parameters and substrate properties a film is causing on the substrate surface. This film has got certain characteristic. Instead of protective behavior physical-mechanical properties of this coating film are important and one of most considerable physical-mechanical parameter of coating is thickness of coating layer.

Analysis and modeling of coating thickness is the main subject of this paper.

Wet coating application is a process where coating material in form of liquid is moving. Total macroscopic force balance is given by application of principles of elementary liquid volume movement. Force acting on liquid volume is given by movement change speed of liquid surrounding.

Forces net F_x acting in x direction on liquid element moving by liquid speed is given by addition of force F_{xB} (impact of volume element weight) and force F_{xS} (impact of tension creating in x direction) (equation (1)) [1].

$$F_x = F_{xB} + F_{xS} \quad (1)$$

An equation for description of movement of elementary volume in x direction, such-called Navier-Stokes's equation, is used for hydrodynamic description of coatings (equation (2)).

$$u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_x}{\partial t} = g \cos \beta - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\eta}{\rho \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2} \right)} + \frac{1}{3} \frac{\eta}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \quad (2)$$

Where

ρcoating material density

gacceleration due to gravity

u_x, u_y, u_z elements speeds of coating material in x, y and z direction

ppressure due to element movement in x direction

ηcoating material viscosity

Coating thickness is obtained in case of knife coatings processes by distance between knife and textile material. From point of view of an easy analysis thickness of coating layer is function of 5 variables; these are knife-substrate distance, substrate speed, viscosity, density and surface tension of coating material. If the coating material is moving in x direction, the equation (2) can be reduced on a form corresponding to equation (3).

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\eta \partial^2 u_x}{\partial y^2} + \rho g \quad (3)$$

For Newtonian liquid coating material speed is given by equation (4) being caused by integration of equation (3). A schematic description of coating application is illustrated on Fig. 1.

$$u = \frac{u_0 y}{h} + \frac{1}{2\eta} \left(\frac{dp}{dx} - \rho g \right) (y^2 - hy) \quad (4)$$

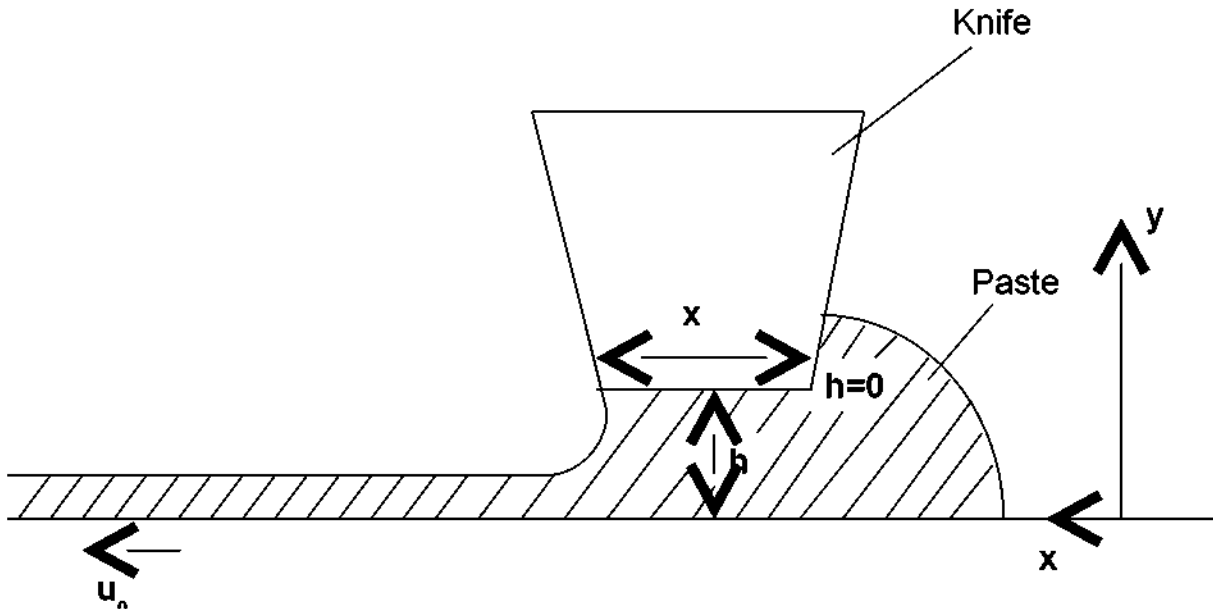


Figure 1 : Knife coating: h - knife-substrate distance; x' - knife width; knife: $h=0$, $u=0$; substrate: $y=h$ and $u=u_0$ [1].

For total coating material amount Q , which is going through gap on length unit and in time unit, equation (5) is valid.

$$Q = \int_0^h u dy = \frac{u_0 h}{2} - \left(\frac{1}{12\eta} \right) \left(\frac{dp}{dx} - \rho g \right) h^3 \quad (5)$$

Coating thickness is given by equation (6) and creates by multiplication of coating amount Q by substrate speed u_0 .

$$W = \frac{h}{2} - \left(\frac{1}{12\eta u_0} \right) \left(\frac{dp}{dx} - \rho g \right) h^3 \quad (6)$$

Pressure gradient is reached for surface tension of coating material regarding balance force acting along meniscus on gap top and therefore equation (7) is arising.

$$\frac{dp}{dx} = - \frac{\sigma}{2h^2} \quad (7)$$

Where σ is surface tension of coating material.

Then for coating thickness equation (8) is valid and it is causing by combination of equations (6) and (7).

$$W = \frac{h}{2} + \frac{\left(\frac{1}{12\eta} \right) \left(\frac{\sigma}{2h^2} + \rho g \right) h^3}{u_0} \quad (8)$$

Resulting analysis for knife coating leads to fact, that coating thickness is given by addition of half a knife gap and an expression its value depends on coating material surface tension, knife gap, coating viscosity and substrate speed.

Coating simulation

The above mentioned equation (8) gives information about thickness of coating material at ones after application that means thickness of wet coating. In reality, thickness achieved after polymerization of coating material during heating operation introduces more important parameter regarding film properties.

This was leading to create a model describing the situation after polymerization, because by acting of heating the thickness and mass of coating material is changing. According to these mentioned reasons a model for coating thickness determination was deduced. This model caused by experimental experience that afforded interesting results very differing in comparison to expression (8) describing wet coating thickness.

Processing

In real industry process setting of machine parametrs is the main subject how to control the basic coating properties and an important aspect is a fact that all coating machine variables can be change directly and operative. Therefore in this paper study two variables were taken being the view parametrs and serving to coating process modeling. Knife-fabric gap and fabric speed were chosen as these parameters. Third additional parameter used in the modeling and also important for getting correct values due to heating the coating material is solid concentration in coating material.

The modeling process was going out from coating layer thickness measurement that was done under different gaps between knife ant coated fabric and in the second case under different speeds of this material guided through coating head (place between roller and knife).

Taking note that equation (8) contains physical variables η , σ , and ρ we will operate with system where these parameters are constant to come close to real process. Solid concentration of coating material is taken as constant also due to the same reason as the third mentioned parameters.

The aim of this study is to get a model correspondig to above mentioden facts and having practical exercise in the industrial process.

Experimental

Acrylic-urethan coating paste was prepared as the coating material applied later on fabric. The material of fabric was coton. The application of coating material on fabric was carried out by laboratory machine Basecoater BC 27 Coatema.

Two suits of samples were prepared. In the first one different gaps knife-fabric were used as mentioned in Tab. I while fabric speed was constant at this experiment. In second suit of samples conversely fabric speed was different at constant knife-fabric gap (Tab. I).

Tab.I: During coating process adjusted machine parameters.

Selected knife-fabric gaps [μm]	0.2	0.4	0.6	0.8
---	-----	-----	-----	-----

Selected fabric speeds [m.min ⁻¹]	0.2	0.4	0.6	1	1.5	2
--	-----	-----	-----	---	-----	---

Dependence of knife-fabric gap on weight of coating layer is described in Fig. 2. There is a tendency of rapidly high weights at gap above 0,4mm. Smaller gaps embody small coating material quantity in comparison with higher gaps.

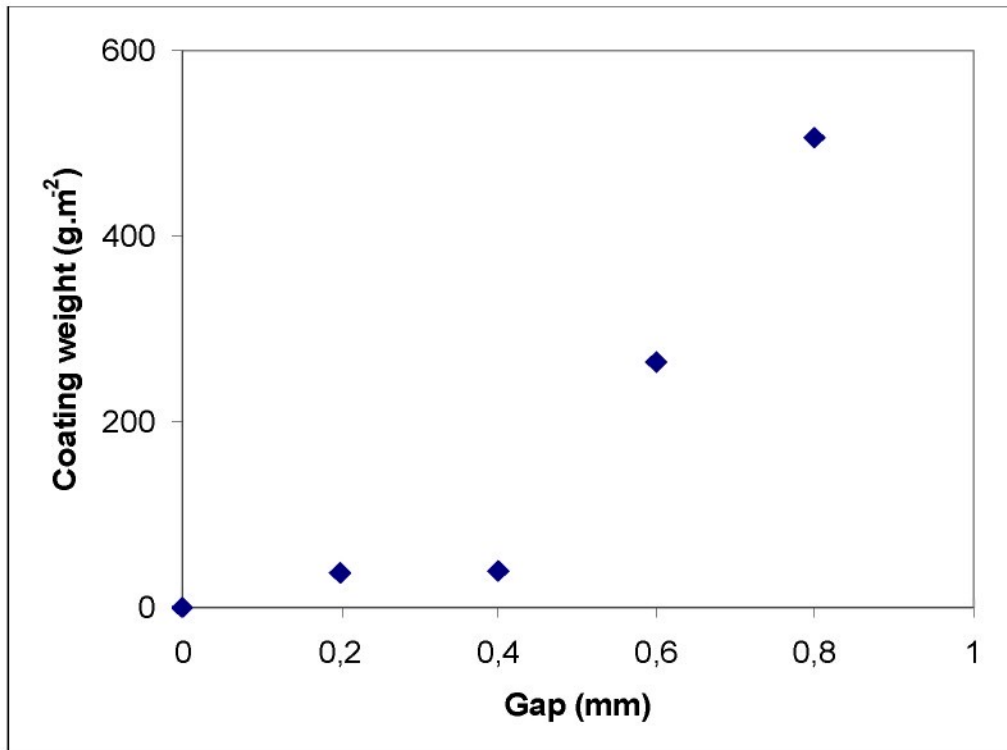


Figure 2: Experimental data describing impact of knife-fabric gap on coating weight.

Material speed adjusted by coating process influences the weight of coating much less than the knife-fabric gap and the trend is decreasing, what is evidently from Fig. 3 that describes dependence of machine (fabric) speed on coating weight.

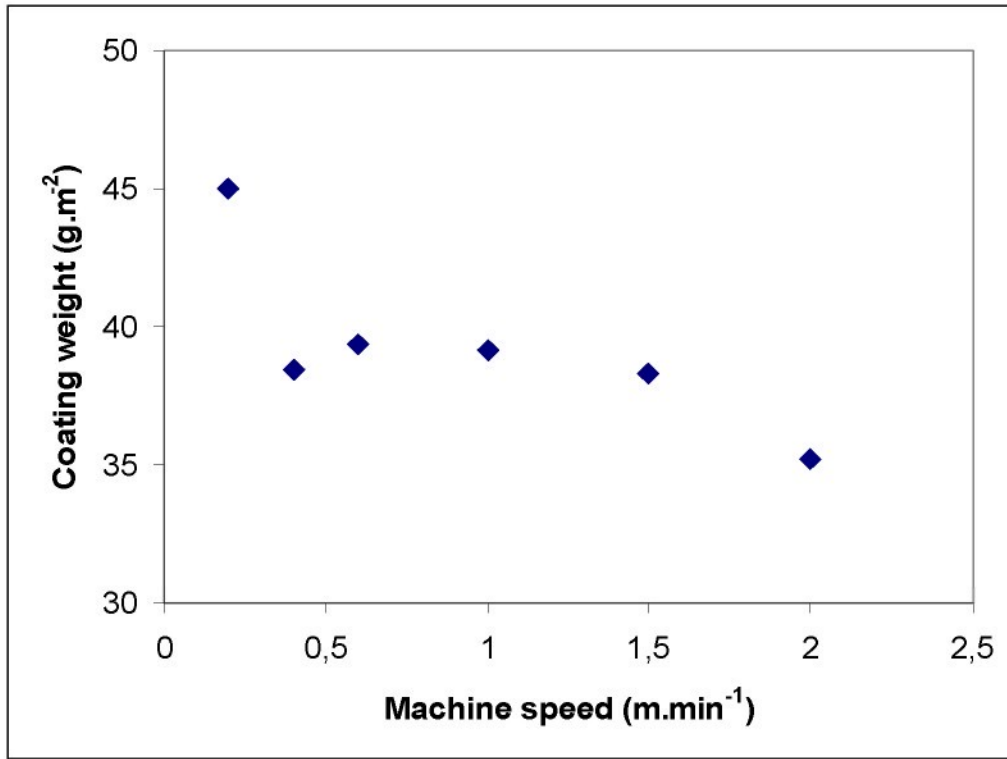


Figure 3: Experimental data describing impact of coating machine speed on coating weight.

According to physical model (see equation (8)) coating mass before fixing related to knife-fabric gap can be described by equation (9).

$$m = \left[\left(\frac{\rho}{2} + \frac{\sigma \rho}{24\eta u_0} \right) h + \frac{\rho^2 g}{12\eta u_0} h^3 \right] s \quad (9)$$

Where **m** is coating weight after fixation and **s** is dry mass of coating paste.

Dependence of coating weight on knife-fabric gap related to our experimental case compared with experimental data from Fig. 2 is described on Fig. 4.

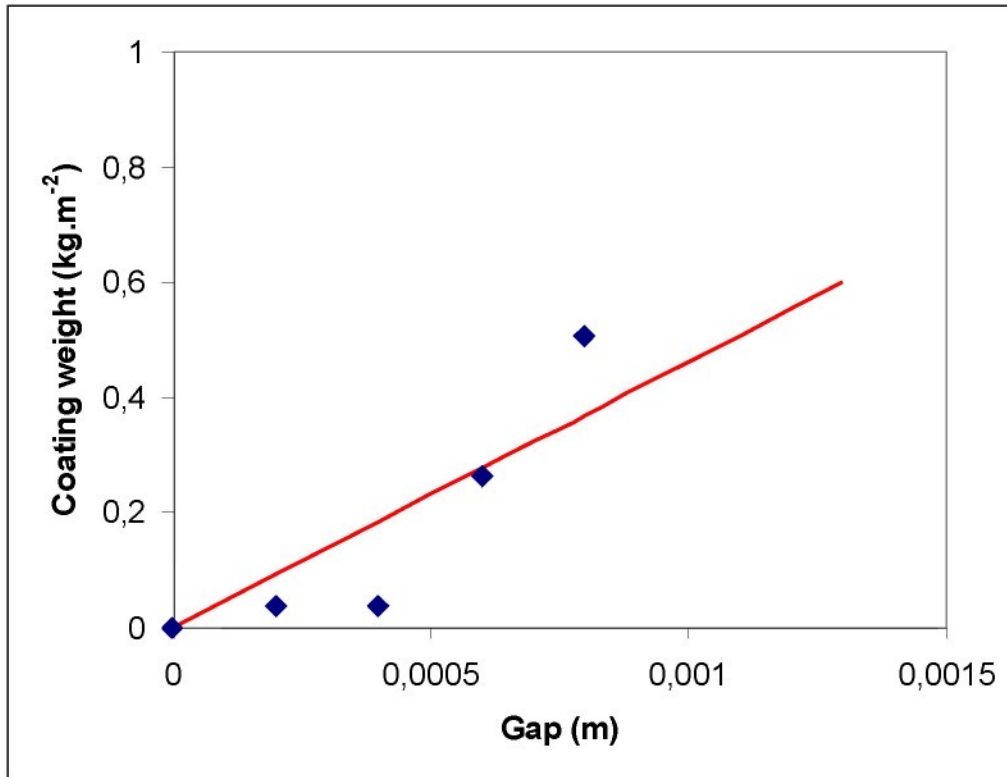


Figure 4: Model and experimental data comparison of dependence of knife-fabric gap on coating weight after heating process.

The dependence seems to be linear but this trend is characteristic in the start phase only. Fig. 5 shows this dependence according to model from eq. (9) in greater scale to see hyperbolic curve character. The curve part which is usefull in practice cases can be taken as linear.

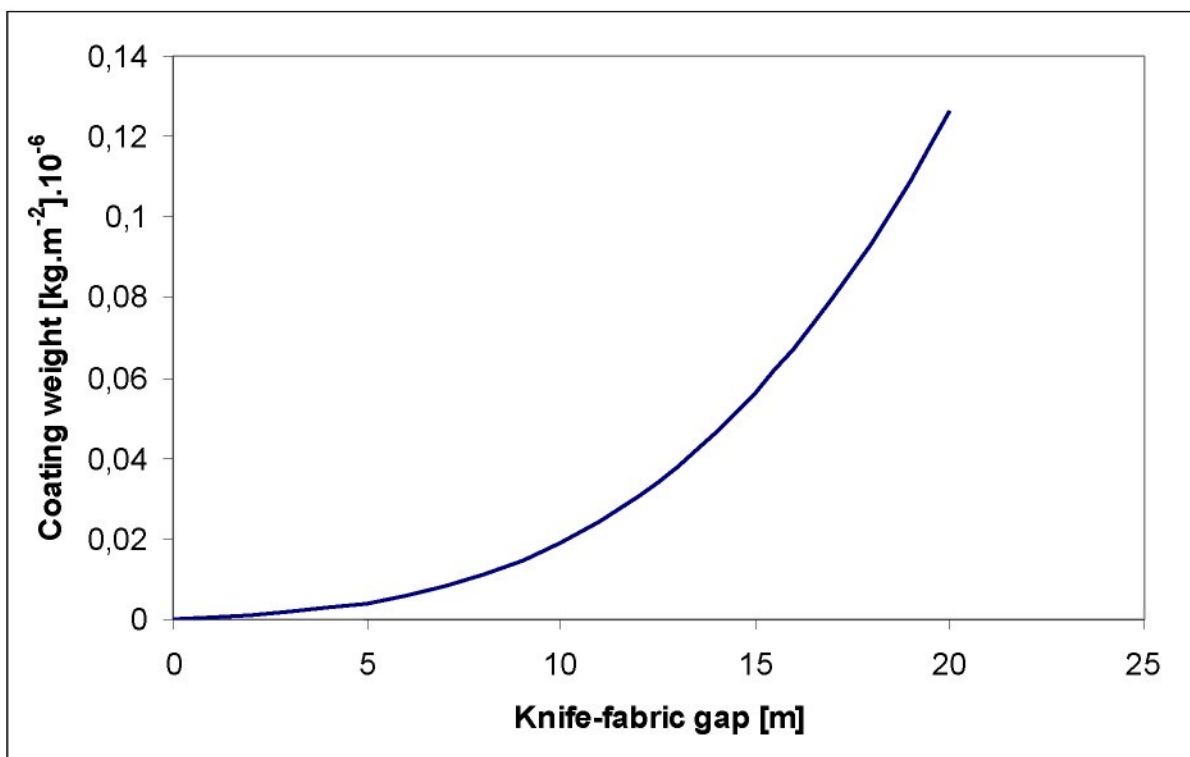


Figure 5: Dependence of knife-fabric gap on coating weight according to model from eq. (9) in greater scale.

In case of machine speed – coating weight dependence a model described by equation (10) is designed.

$$m = \left[\frac{h\rho}{2} + \frac{\left(\frac{1}{12\eta} \right) \left(\frac{\sigma}{2h^2} + \rho g \right) \rho h^3}{u_0} \right] s \quad (10)$$

In Fig. 6 experimental realized data of dependence of material speed on coating weight are described and compared with teoretical model going out from eq. (10). Fig. 7 describes this model also.

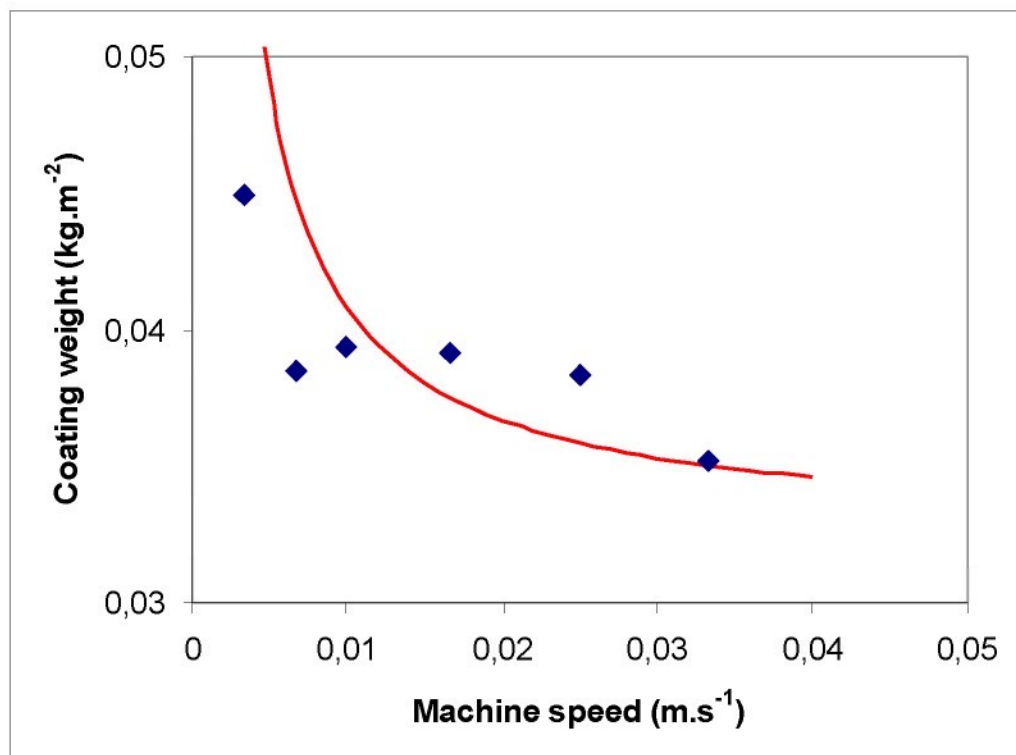


Figure 6: Model and experimental data comparison of dependence of machine (material) speed on coating weight.

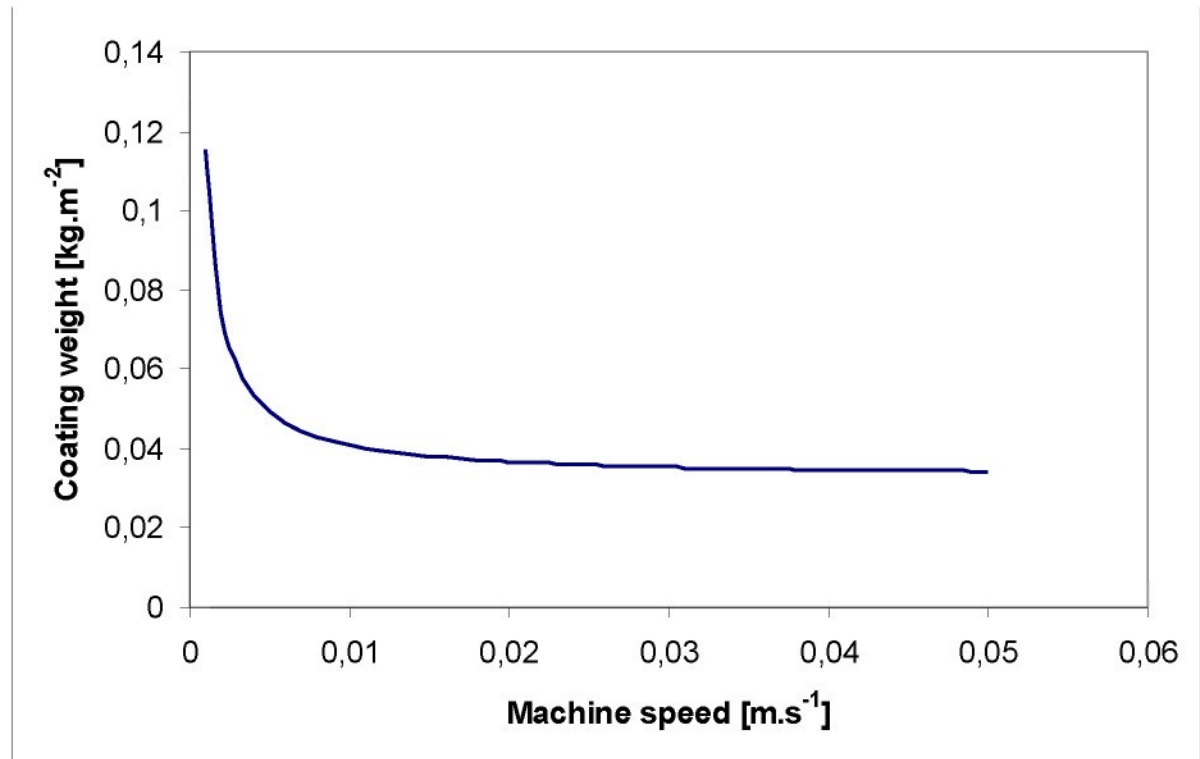


Figure 7: Model of dependence of machine (material) speed on coating weight (equation (10)).

By using of electron microscopy thicknesses of particular samples were determined and acquired dependences were used for the coating thickness modeling. Change of coating layer thickness after heating process is more complicated than the weight change described above. The experimental data were the ground for preparation of proposed semi-empirical model.

In Fig. 8 to 11 photographs of coatings with different adjusted gaps and constant machine speed 0.2m/min are illustrated.

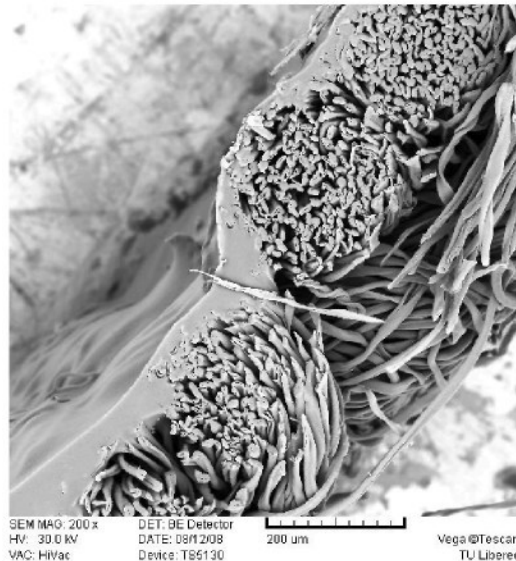


Fig. 8: Coating layer with 0.2mm gap.

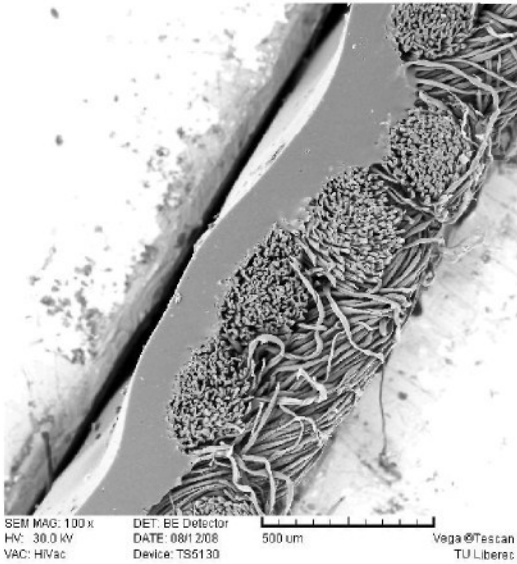


Fig. 9: Coating layer with 0.4mm gap.

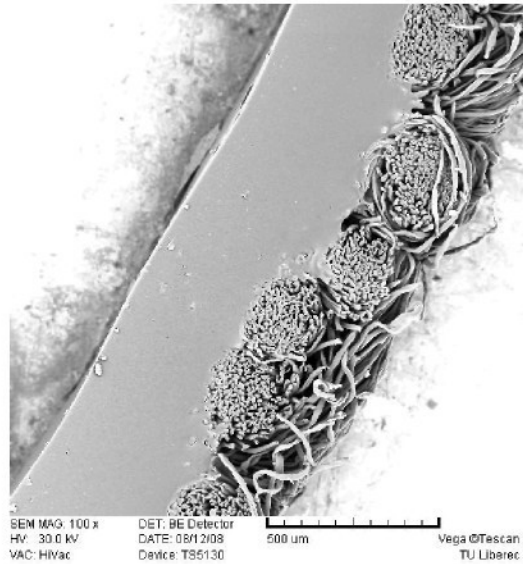


Fig. 10: Coating layer with 0.6mm gap.

Fig. 11: Coating layer with 0.8mm gap.

Coatings differing by adjusted machine speeds are illustrated in fig. 12 to 14. Knife-fabric gap was constant with value 0.4mm.

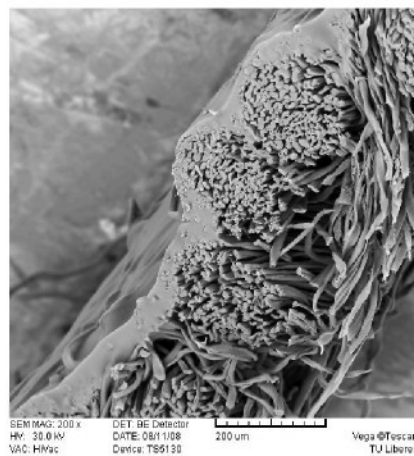
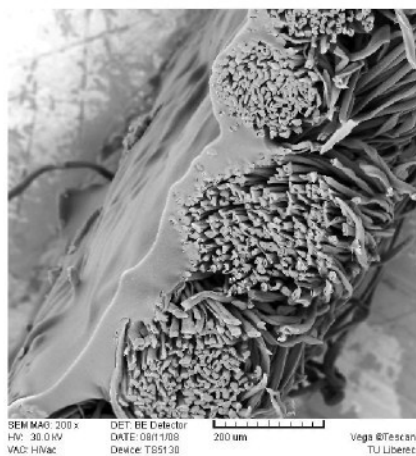


Fig. 12: Coating layers produced by machine speed of 0.2 and 0.4 m/min.

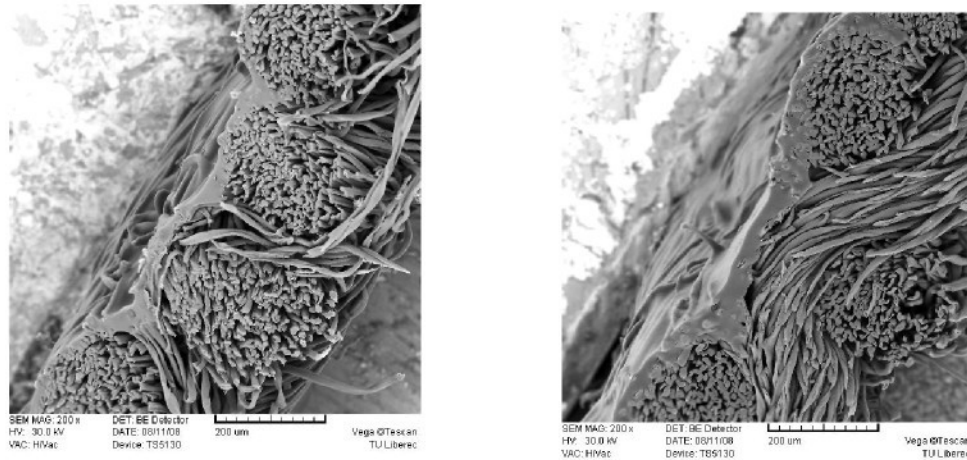


Fig. 13: Coating layers produced by machine speed of 0.6 and 1 m/min.

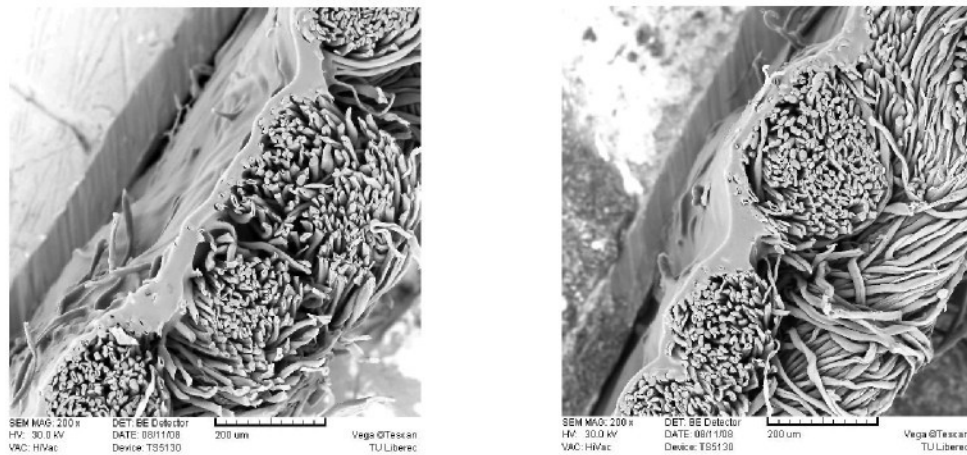


Fig. 14: Coating layers produced by machine speed of 1.5 and 2 m/min.

Experimental values of thickness of both experimental cases – gap and speed changing are described in Tab. II.

Tab: II: Statistical thickness data in μm of gap and speed samples.

	GAP[mm]				SPEED[m.min ⁻¹]					
	0,2	0,4	0,6	0,8	0,2	0,4	0,6	1	1,5	2
1	32,04	32,77	106,98	295,94	58,82	15,29	13,87	14,85	15,52	11,06
2	35,14	26,49	118,09	275,04	47,6	18,27	19,89	15,48	16,47	8,23
3	10,92	28,47	108,99	266,27	33,28	25,71	11,38	12,63	16,1	9,99
4	30,81	24,73	105,2	271,67	39,45	28,29	38,88	9,6	11,5	16,52
5	20,39	13,45	138,79	300,49	28,14	22,23	31,73	14,48	18,1	16,69
6	20,39	16,97	192,21	285,61	24,26	26,17	35,35	24,84	20,5	12,65
7	20,03	9,89	106,07	276,82	74,74	20,68	24,1	25,4	17,07	12,65
8	26,21	41,97	113,15	281,84	14,19	23,68	24,23	21,95	16,04	20,25
9	29,78	44,16	187,65	392,76	15,87	35,5	35	29,82	11,5	10,5
10	16,52	33,67	130,73	313,9	59,26	32,98	18,72	14,36	15,87	17,11
11	13,91	39,07	118,45	352,97	48,09	14,9	7,97	23,22	11,21	7,95
12	12,69	21,34	106,38	341,46	86,22	21,77	10,52	13,5	17,67	12,03
13	10,99	17,81	96,72	312,17	40,84	38,19	10,42	16,11	12,16	13,09
14	15,96	40,2	110,5	266,45	35,61	34,52	10,89	27,93	17,63	14,76
15	10,65	20,86	100,9	279,83	38,18	33,68	14,23	22,17	21,27	9,49
16	15,74	12,86	106,93	378,27	36,88	33,08	26,26	21,34	15,2	10,15
17	16,86	22,63	119,65	367,43	51,25	17,31	33,33	25,01	13,86	9,23
18	19,05	15,28	117,88	367,46	24,05	14,27	16,87	14,23	30,03	25,93
19	18,34	23,73	103,54	379,6	33,69	24,66	21,92	16,86	12,69	6,1
20	14,35	34	118,35	315,61	20,98	25,45	24,62	18,54	9,26	10,38
Average	19,5385	26,0175	120,358	316,0795	40,57	25,3315	21,509	19,116	15,9825	12,738
Deviation	7,451204	10,39174	25,79765	43,09707	18,75444	7,41389	9,601863	5,695914	4,566072	4,712937
Variance	38,13601	39,94133	21,4341	13,63488	46,22737	29,26748	44,64114	29,79658	28,56919	36,99903

Generally equation (11) characterizes thickness stage after heating process.

$$W = \left[\frac{h}{2} + \frac{\left(\frac{1}{12\eta} \right) \left(\frac{\sigma}{2h^2} + \rho g \right) h^3}{u_0} \right] - \frac{\partial W}{\partial t \partial T} \quad (11)$$

Where term $\frac{\partial W}{\partial t \partial T}$ describes change of thickness of wet coating before heating by time and temperature.

This change depends mostly on coating material composition and properties. During heating operation coating material volume is decreased even whole solvent is absolutely taken away. This volume decreasing is attended by thickness change. According to experimental values obtained an empirical approach was derived as mentioned in eq. (12).

$$W_M = \left[\frac{h}{2} + \frac{\left(\frac{1}{12\eta} \right) \left(\frac{\sigma}{2h^2} + \rho g \right) h^3}{u_0} \right] \cdot s \cdot e^{-h} \quad (12)$$

Where W_M is the model thickness established after heating process, s is percentage of dry mass of coating material and term e^{-h} is an exponential function of knife-fabric gap.

In Fig. 15 experimental data with model function from eq. (12) and model from eq. (8) are compared.

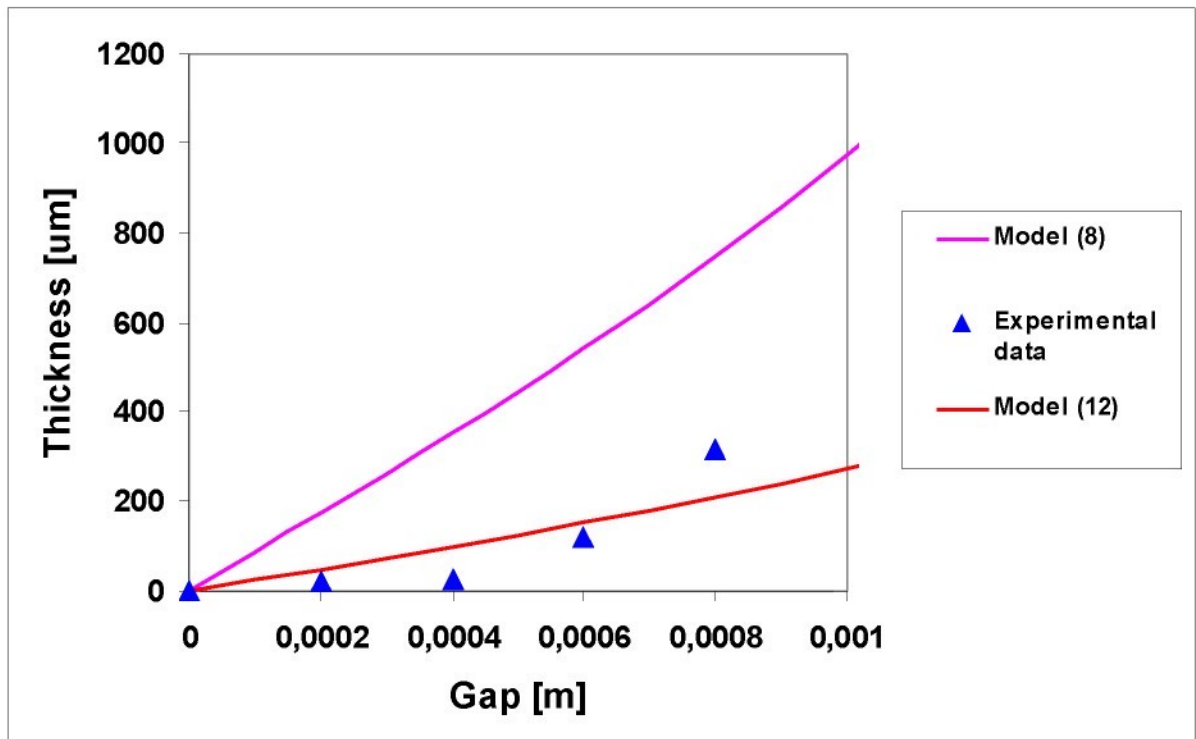


Figure 15: Comparison of experimental obtained thickness data with different gap values with semi-empirical model according to eq. (12) and physical model according to eq. (8).

In case of dependence of coating thickness on machine speed a model according to equation (13) is designed. Comparisons of experimental data to model (13) and model (8) are illustrated in Fig. 16.

$$W_M = \left[\frac{h}{2} + \frac{\left(\frac{1}{12\eta} \right) \left(\frac{\sigma}{2h^2} + \rho g \right) h^3}{u_0} \right] \cdot s \cdot e^{-\frac{u_0}{s}} \quad (13)$$

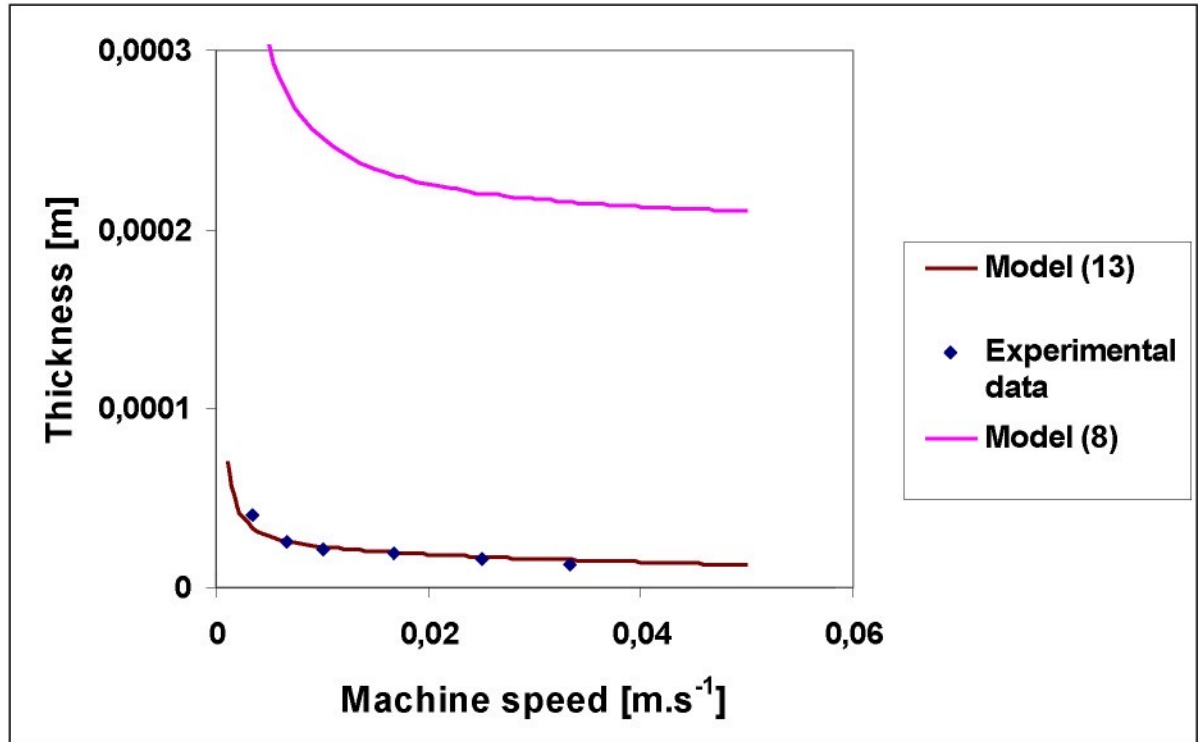


Figure 16: Comparison of experimental obtained thickness data with different machine speed values with semi-empirical model according to eq. (13) and physical model according to eq. (8).

Conclusion

The aim of this paper was to derive semi-empirical models for thickness and mass coating prediction. Both models result from physical model for coating thickness determination that is

valid after coating application before heating only. Submitted new models solve the problem after heating processing.

The first model characterizes dependence of knife-fabric distance (gap) on coating thickness and is described in equation (12). Comparison of this model with experimental obtained data gives very good correspondence as can be seen in Fig. 15.

In the second case where dependence of machine speed on coating weight was examined a model described in equation (14) was designed. In Fig. 16 is again mentioned comparison with experimental data with very good result again.

Both models are suitable for using in knife coating processes and can help at necessary coating thickness or weight changes during application.

In case of coating mass prediction elementary models were used. For knife-fabric gap dependence equation (9) and for machine speed dependence equation (10) is designed. Results of comparison with experimental data are illustrated in Fig.4 and 6 and show very good accordance.

References

- [1] W. Fung : Coated and laminated textiles, Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, 2002
- [2] Tracton, A.A.: Coatings Technology Handbook, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006, Boca Raton, ISBN 1-57444-649-5
- [3] Sen, A.K., Tech, M.: Coated Textiles, Technomic Publishing Company, © 2001, Pennsylvania, ISBN 1-58716-023-4
- [4] Dembický, J.: Hydrophobe und wärmebeständige Beschichtungen, Textilveredlung 5/6, 43.Jahrgang, s. 18-21, 2008, Einsiedeln CH, ISSN 0040-5310

Messung der Netzfähigkeit von Textilfasern

J. Dembick, Textilfakultät, Technische Universität, Liberec/Tschechien

Die Änderungen in der Fasernetzfähigkeit werden oft zur Identifikation der Oberflächenmodifikation verwendet und deshalb gehört die Netzfähigkeit zu den wichtigen Eigenschaften der Textilfasern. Der häufigste Vorgang zur Bestimmung der Netzfähigkeit besteht in der Messung des Kontaktwinkels zwischen Flüssigkeit und festem Stoff. Die Zwischenphase Faser - Flüssigkeit stellt jedoch ein kompliziertes System dar und die Kontaktwinkelfestlegung ist hinsichtlich der Genauigkeit sehr anspruchsvoll. Der Beitrag berichtet über die Vorgänge zur Messung des Kontaktwinkels und anderer Parameter der Fasernetzfähigkeit und zeigt gleichzeitig eine neue Methode auf, die moderne analytische Methoden benutzen.

Messung des Kontaktwinkels

Viele Fachleute entwickelten sonderbare Methoden für diese Messung, manche nehmen einen kritischen Standpunkt dazu ein aufgrund der großen Wahrscheinlichkeit der Messungenauigkeit. Es ist bekannt, dass die Messung dieser Größe oft unreproduzierbar ist und mit sich erhöhendem Kontaktwinkel erhöht sich der

relative Fehler seines Kosinus, der bei 90° bis 40 % beträgt. Darum ist es wichtig, diese Größe durch einen indirekten Vorgang zu messen. Das Ziel des Projekts lag in der Findung einer optimalen Methodik, die eine reproduzierbare Messung garantieren würde. Der Kontaktwinkel wurde indirekt aus der Flüssigkeitskurve beim Kontakt der Flüssigkeit

mit der Textilfaser mittels Bildanalyse festgehalten, die bereits eine umfangreiche Anwendung in der Textilindustrie hat.

Vorgänge bei der Messung der Fasernetzfähigkeit

- Wilhelmy's Gleichgewichtsprinzip

Nach [1] lässt sich die auf die Faser wirkende Kraft ausrechnen

$$F = P \cdot \gamma \cdot \cos(\theta) \quad (1)$$

- P Faserparameter [m]
- γ Oberflächenspannung der Flüssigkeit [N·m⁻¹]
- θ Kontaktwinkel [°]

Bei der Fasernetzfähigkeit ist die Netzfähigkeit des Systems als Verhältnis der auf die Faser wirkenden Kraft F und des Fa-

Spinnerei

serparameters P definiert. Dieses Verhältnis wurde als Adhäsionsspannung bezeichnet [2]. Oft wird diese in der Fachliteratur auch unter dem Namen spezifische Netzfähigkeit erwähnt (Bild 1). Eine andere Messtechnik stellt Bild 2 vor, bei der die Auftriebskraft zur Bestimmung der Adhäsionsspannung benutzt wird [3]. Für das Gleichgewicht der auf die teilweise getauchte Faser wirkenden Kräfte gilt Gleichung (2).

$$F = F_w - F_b \quad (2)$$

F Gleichgewichtskraft, korrigiert für Luft [N]
 F_w Flüssigkeitsschwere, an Faser haftend [N] (Wilhelmy's Netzfähigkeitskraft)
 F_b Auftriebskraft [N]

Die Auftriebskraft kann aus dem Umfang des getauchten Substratteils und der Flüssigkeitsdichte bestimmt werden, wie in Gleichung (3) dargestellt ist.

$$F_b = L \cdot A \cdot N \cdot d + l \cdot A \cdot d + B_s \quad (3)$$

L Tauchlänge der vertikal gelegten Faser oder des Faserbands [m]
 A Durchschnittsfläche einer Faser [m²]
 N Faseranzahl
 d Flüssigkeitsdichte [kg·m⁻³]
 l Länge des horizontal gelegten Faserteils oder Faserbands [m]
 B_s Auftriebskraft des Gewichtsstücks [N]

Für die spezifische Netzfähigkeitskraft w gilt Gleichung (4).

$$w = \frac{F_w}{N \cdot P} = \frac{F \cdot F_b}{N \cdot P} \quad (4)$$

w Spezifische Netzfähigkeitskraft [N·m⁻¹]
 Nach Einsetzen von F_b entsteht Gleichung (5).

$$F = (N \cdot P \cdot w - l \cdot A \cdot d - B_s) - L \cdot A \cdot N \cdot d \quad (5)$$

Ein weiteres Beispiel für ein Gerät zur Messung der Netzfähigkeitskraft ist in Bild 3 dargestellt [3]. Das Muster hängt auf der Mikrowaage und sein Gewicht in Luft ist vor dem Kontakt nullabgeglichen.

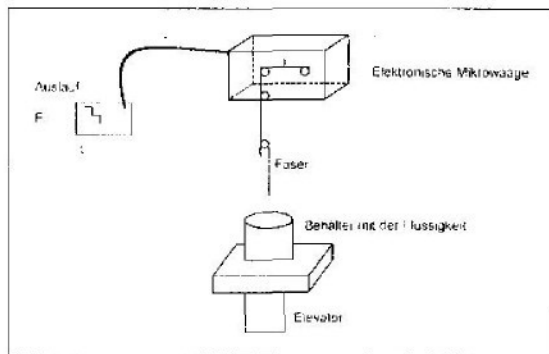


Bild 3 Gerät für die Messung der Netzfähigkeit

Die Flüssigkeit wird langsam so lange angehoben, bis eine Kraftänderung entsteht als ein Ergebnis des ersten Kontakts mit der hängenden Faser. Diese Kraftänderung wird dann zur Bezeichnung der Nullebene des Tauchens benutzt. Die Flüssigkeit wird weiter angehoben und es wird der Abstand zur Bestimmung der spezifischen Länge des Fasertauchens gemessen. Die Gewichtsveränderung wird so lange fortgeschrieben, bis die Gleichgewichtskraft bestimmt ist (einige Sekunden).

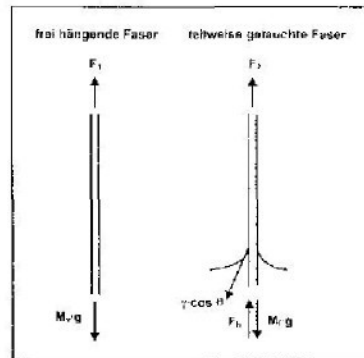


Bild 1 Vertikale Kräfte, die auf die Faser wirken. Wenn die Auftriebskraft vernachlässigbar ist, gilt folgende Gleichung: $F_2 - F_1 = P \cdot \gamma \cdot \cos \theta$ ($M_2 \cdot g$ - Gravitationskraft)

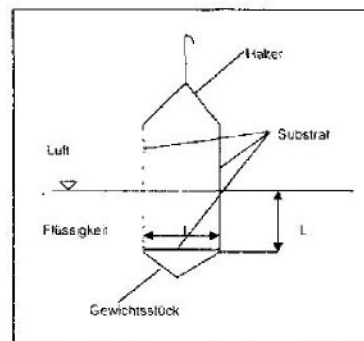


Bild 2 Einspannen für unnachgiebige Materialien

Die Kräfte werden als Funktion in Abhängigkeit von der Länge des Tauchens eingesetzt.

Dynamische Messung der Fasernetzfähigkeit

Die Netzfähigkeitsdynamik ist in einer Reihe von Artikeln durch die Geschwindigkeit beschrieben, die ein dynamisches Verhalten während eines vertikalen Eintrags der Faser in die Flüssigkeit darstellt [4]. Dabei erhöht sich der dynamische Kontaktwinkel bis auf 90°. Die Bewegungsgeschwindigkeit der Faser, die man dazu benötigt, wird "rise-cancelling velocity - RCV" genannt. Obwohl bisher kein optimales Modell entwickelt wurde, ist die erwähnte Größe gegenüber der Viskosität der Flüssigkeit und den Bedingungen der Gleichgewichtsnetzfähigkeit empfindlich. Bild 4 zeigt die Veränderung des Kontaktwinkels bei vertikaler Bewegung der Faser in die Flüssigkeit.

Das Gerät zur Messung der RCV-Geschwindigkeit (Bild 5) besteht aus zwei Komponenten. Ein mechanisches System für die Verschiebung der Faser bei der Geschwindigkeitskontrolle sowohl in Richtung in die Flüssigkeit als auch umgekehrt stellt das erste Teil dar. Das zweite Teil des Gerätes bildet ein optisches System zur Sichtbarmachung der Zwischenphase Flüssigkeit - Faser. Wenn es um positive Netzfähigkeit geht (Bild 4, A), gibt es hier einen erhöhten Meniskus und der Winkel ist kleiner als 90°. Sobald sich die Faser in die Flüssigkeit bewegt, sinkt der bisherige Winkel (Bild 4, B) bis auf 90°, was die kritische Geschwindigkeit (C) darstellt, über die die Meniskusform schon reduziert ist (D). Im Fall, dass die statischen Bedingungen keine positive Netzfähigkeit aufweisen, kann derselbe Erhöhungstrend des Kontaktwinkels mit erhöhter Geschwindigkeit der Faserbewegung erwartet werden. Schwarz und Tejada [5] haben den dynamischen Kontaktwinkel über 90° für eine Serie von organischen Flüssigkeiten auf sich bewegender Faser (reines Polymer) gemessen. Die Ergebnisse wurden mit zwei verschiedenen Mechanismen interpretiert.

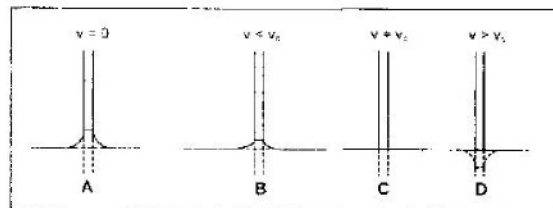


Bild 4 Veränderung vom kapillaren Hub der Flüssigkeit längs der vertikal situierten Faser, die sich nach unten bewegt (v - Fasergeschwindigkeit [m·s⁻¹] (die Faser bewegt sich vertikal in Richtung der Flüssigkeit); v_c - Kritische Geschwindigkeit, bei der der dynamische Kontaktwinkel 90° ist [m·s⁻¹])

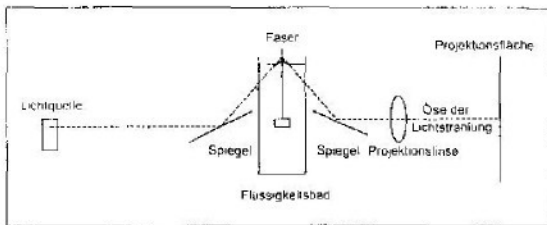


Bild 5 Gerät für die Messung der RCV-Geschwindigkeit

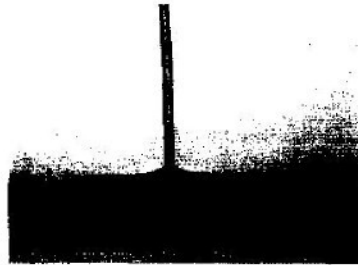


Bild 6 Bildverarbeitung der Interaktion Faser - Flüssigkeit mittels Analyse LUCIA

1. Anfangs ist der dynamische Kontaktwinkel gleich dem Gleichgewichtswert, bevor die Geschwindigkeit zunimmt.
2. Mit der Geschwindigkeitserhöhung ist die Beziehung zwischen dem Kontaktwinkel und der Geschwindigkeit von der Moleküllbewegung längs der Faseroberfläche abhängig. Die verlangsamte Kraft hängt von der Flüssigkeitsviskosität ab.

Diese Vorgänge für die Messung der RCV-Geschwindigkeit wurden in Publikationen von Kimmel und Steiger [6] benutzt, wo v_c gemessen wurde und von Schick in [7] die Abhängigkeit von Friktionsparametern der synthetischen Fasern verfolgt wurde.

Messung der Netzfähigkeit mittels Bildanalyse Lucia

Die bereits erwähnten Methoden gehören zu den häufigsten Verfahren zur Feststellung der Netzparameter von Textilfasern. Die Genauigkeit der Methode spielt hier eine große Rolle und deswegen entstehen oft Fehler bei der direkten Messung des Kontaktwinkels auf der Zwischenphase Flüssigkeit/Faser. Um reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen, wurde eine neue Messmethode entwickelt, bei der die Bildanalyse Lucia G benutzt wurde. In Bild 6 ist das Messsystem dargestellt, das aus folgenden Teilen besteht: Computer mit Konfiguration mindestens 75 MHz, 8 MB RAM, 850 MB HDD, 2 MB graphische Karte, CCD Videokamera, Mikroskop mit einem Objektiv mit einer Vergrößerung von 200. Die Faser wird in einen speziellen Glas-

rahmen eingesetzt. Dann wird das so vorbereitete Muster in einen Glasbehälter mit zugehöriger Flüssigkeit eingesetzt. Die Flüssigkeitsebene ist knapp über dem Oberrand des Behälters. Man kann annehmen, dass die Ebene horizontal ist. Beim Kontakt der Flüssigkeit mit der Faser entsteht eine Flüssigkeitskurve, die gleichzeitig durch die Bildanalyse analysiert wird [8]. Für die Messung ist die Genauigkeit der Glasbehälter- und Rahmenkonstruktion wichtig. Beide Messmittel wurden in Zusammenarbeit mit dem Entwicklungswerk für Optik der Wissenschaftsakademie der Tschechischen Republik angefertigt.

- Datenauswertung

Nach der Verarbeitung bekommt man eine Serie von experimentellen Punkten, die die Flüssigkeitskurve bilden. Dann folgt die Bestimmung der X- und Y-Werte von einzelnen Punkten und die Regressionsanalyse nach vorher vorgeschlagenen Regressionsmodellen, wie im Experimententeil gezeigt wird. Aus der festgestellten Gleichung für die Flüssigkeitskurve werden die Netzparametern bestimmt. In diesem Fall sind das der Kontaktwinkel und die Adhäsionsarbeit. Die Festlegung dieser Parameter wurde bereits in [3] und [7] beschrieben.

Experimententeil

Als Textilmaterial für die Messung wurden p-Aramidfasern (Kevlar) ausgewählt. Mittels Bildanalyse wurden die beim Kontakt mit der Faser entstehenden Flüssigkeitskurven modelliert. Eine Probe der Interaktion zeigt Bild 6. Es handelt sich um Kevlar-Faser beim Kontakt mit destilliertem Wasser. Das vorgeschlagene Modell für die Beschreibung der Flüssigkeitskurve hat folgende Form: $y = -p_1 (1 - e^{-p_2 x})$. Für eine bessere Datenverarbeitung wurde die Kurve durch das Modell $y = p_1 (1 - e^{-p_2 x})$ beschrieben, wie aus der Regressionsanalyse zu beobachten ist. Auf das Ergebnis hat dies jedoch keinen Einfluss.

Schlussbemerkungen

Diese Arbeit sollte eine neue Messme-

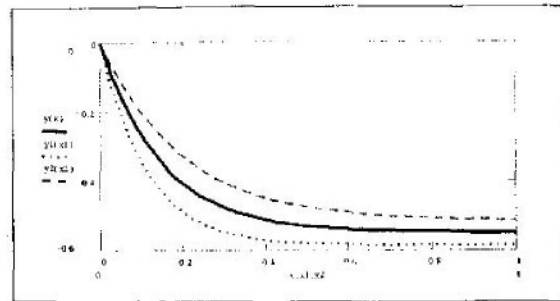


Bild 78 Modell der Flüssigkeitskurve beim Kontakt mit Kevlarfaser mit Verlässlichkeitsgebiet für die Regressionskurve
y... Modellkurve, $y = -0,548 (1 - e^{-6,766 x})$
y1,2... Verlässlichkeitsgebiet, Kontaktwinkel: 15,1°, Adhäsionsarbeit: 0,143 J·m⁻²

thode zeigen, die sich zur Bestimmung der Netzfähigkeit von Fasern eignet. Sie benutzt bei der Festlegung der Netzparameter indirekte Vorgänge, die in der Analyse von Flüssigkeitskurven bestehen. Die Auswertung wird dann mittels Regressionsanalyse durchgeführt. Im Vergleich mit anderen Methoden, die in diesem Beitrag auch erwähnt sind, ist diese Methode einfacher und bietet umfangreichere Möglichkeiten bei der Festlegung der Netzfähigkeit von Textilfasern auf statische Weise. Als Beispiel für die Messung dienten p-Aramidfasern (Kevlar) im Kontakt mit destilliertem Wasser.

Literatur

- [1] Wilhelm, J., Ann. Physik, 119 (1863), 177
- [2] Bartel, F.E., Bartel, L.S., J. Amer. Chem. Soc. 56 (1934), 2205
- [3] Miller, B., Young, R.A., Text. Res. J. 45 (1975), 359
- [4] Elliott, G.E.P., Riddiford, A.C., J. Colloid Interfac. Sci. 23 (1967), 389
- [5] Schwartz, A.M., Tejada, S.B., J. Colloid Interfac. Sci. 38 (1972), 359
- [6] Kimmel, J.M., Steiger, F.H., Ind. Eng. Chem., Prod. Res. Dev. 9 (1970), 259
- [7] Schick, M.J., Text. Res. J. 44 (1974), 756
- [8] Anweisung zur Benutzung der Bildanalyse Lucia 3.52 G

Homepage Textilprüfung

Aktuelle Informationen zur Textilprüfung werden auf der Homepage www.textilpruefung.de, die vom Sächsischen Textilforschungsinstitut e.V. gestaltet wurde, veröffentlicht. Eine Zusammenstellung relevanter Normen wird ergänzt durch eine ständig aktualisierte Rubrik "Neue Normen", bei Entwürfen wird auch auf die Einspruchsfristen verwiesen. Neben den Normenübersichten sind auch Hinweise auf Bezugsquellen für Normen, Hilfsmaterial und Laborausstattung auf den Internetseiten zu finden. Ergänzt wird die thematische Zusammenstellung durch ausgewählte Literatur sowie weitere Links zu verwandten Bereichen. Hinweise und Anregungen zur Gestaltung der Homepage werden von Herrn Dr. Matthias Mägel, E-Mail: maegel@stfi.de, gern entgegengenommen.

Bestimmung der Kontaktwinkel von Flüssigkeiten beim Kontakt mit Textilfasern

Josef Dembicky, Jakub Wiener, Technische Universität, Liberec/Tschechien

Die Netzfähigkeitsparameter werden oft von den Kontaktwinkelwerten von verschiedenen Flüssigkeiten auf dem Festkörper festgelegt. Die genaue Bestimmung der Kontaktwinkel auf den Textilfasern mit Durchmessern von 10 µm ist jedoch sehr anspruchsvoll. Bis jetzt wurden Methoden verwendet, die oft kompliziert und nicht genau sind. Der Beitrag befasst sich mit der Entwicklung einer Messmethode [1], die diese Probleme reduziert.

In der Arbeit wurde die Abhängigkeit der Netzfähigkeit von der Zeit der alkalischen Hydrolyse von Polyesterfasern untersucht. Zur Messung der Netzfähigkeit wurden drei Methoden benutzt, von denen zwei vergleichende Methoden sind und die 3. Methode eine optische Methode darstellt [1].

Gravimetrische Methoden

- Messung mittels Tensometer

Diese Methode besteht in der Festlegung des Flüssigkeitsgewichts, das beim Kontakt der Faser mit einer Flüssigkeit über die Flüssigkeitsebene aufsteigt [2]. Bei der Bestimmung der Kontaktwinkel der Flüssigkeiten mit den Fasern wird die modifizierte Wilhelmy's Methode angewandt. Die Grundbeziehung ist durch die Gleichung (1) dargestellt [3].

$$Y_{LG} = \frac{F_w}{L \cdot \cos \theta} \quad (1)$$

Y_{LG} = Oberflächenspannung der Flüssigkeit [N·m⁻¹]

F_w = Wilhelmy's Kraft [N]

L = Benetzungslänge [m]

θ = Kontaktwinkel [deg]

Die Netzlänge wird in (2) berechnet:

$$L = 2 \pi r \quad (2)$$

r : Faserdurchmesser [m]

Vor der eigentlichen Messung wird zuerst der Faserradius bestimmt, aus dem die Netzlänge als Eingangsparameter errechnet wird. Dann wird die eigentliche Messung durchgeführt. Die Faser wird in spezielle Klammern befestigt und in die Anlage eingelegt. Im 1. Schritt sinkt die Faser in vertikaler Richtung - es erfolgt die Messung des sinkenden Kontaktwinkels, anschließend wird die Faser nach oben gezogen, es erfolgt die Messung des steigenden Kontaktwinkels.

- Wiegemethode

Die 2. Messmethode nutzt wieder das Prinzip der Wilhelmy's Gleichung (1). Bei dieser Methode wird die Faser in ein Gefäß mit einer definierten Flüssigkeit eingetaucht und die Zunahme des Gewichts der Flüssigkeit verfolgt, die an der Faseroberfläche hinaufsteigt (Bild 1). Im Augenblick des Gleichgewichts gilt die Gleichung (1). Um eine hohe Genauigkeit zu erzielen, wurde eine spezielle Mikrowaa-

ge KERN 770 mit einer Genauigkeit von 0,0001 g verwendet.

Die Faser wurde auf ein spezielles Mikrometer fixiert und in die Flüssigkeit mit konstanter Geschwindigkeit getaucht. Dann wurde das Flüssigkeitsgewicht bestimmt, in dem die Skala auf dem Mikrometer dicht vor dem Trennen der Flüssigkeit von der Faser abgelesen wurde. Danach wurde mit (1) der Kontaktwinkel errechnet.

Optische Methode

Für den Test wurde eine Messeinrichtung verwendet, die aus einem Mikroskop SM6, einem Digitalphotoapparat Nikon Coolpix, einem Glasgefäß und einem speziellen Rahmen für die Fixierung der Fasern bestand [1]. Das System ist in Bild 2 dargestellt. Mit dieser Apparatur wurden die Flüssigkeitsmenisken aufgenommen, aus denen die Kontaktwinkel durch die Verarbeitung mittels Software Lucia 4.1 G der Laboratory Imaging festgelegt wurden.

Die Faser wird in den Fixierahmen eingespannt, sodass sie rechteckig zur Flüssigkeitsebene orientiert ist. Mittels Mikropipette wird in ein spezielles Glasgefäß, das auf dem Mikroskop befestigt ist, die Flüssigkeit eingegossen. Der Rahmen mit der Faser wird dann in das Gefäß eingesetzt (Bild 3). In einem weiteren Schritt wird der Flüssigkeitsmeniskus mittels Fotoapparat mit Fotoadapter aufgenommen.

Die Flüssigkeitsebene muss nach dem

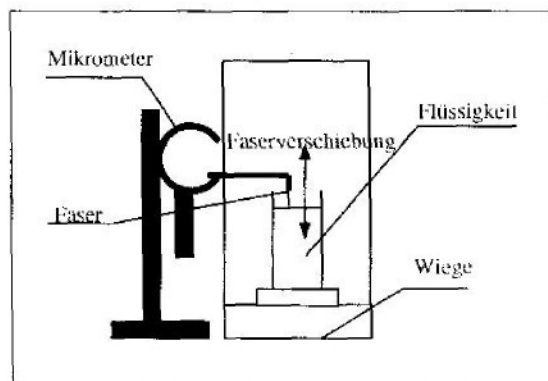


Bild 1 Messprinzip Wiegemethode

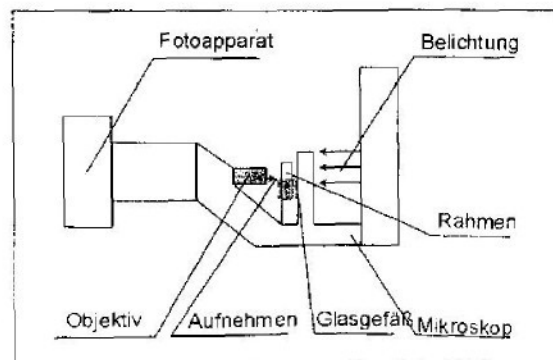


Bild 2 Darstellung der Messapparatur für die Festlegung der Kontaktwinkel mittels der neuen Methode

Einsetzen des Rahmens mit der Flüssigkeit den Gefäßrand überschreiten, damit ein Meniskus aufnehmbar ist. Um diesen Zustand zu erreichen, muss man unter den inneren Rand des Gefäßes ein Teiftonband kleben.

Nach dem Einsetzen des Rahmens ist zu warten, bis die Flüssigkeit sich nicht mehr bewegt. Danach wird die Aufnahme fertiggestellt.

Diese Aufnahme wird mittels Bildanalyse LUCIA 4.1 G der Firma Laboratory Imaging verarbeitet [4]. Es wird direkt der Winkel zwischen Flüssigkeit und Faser gemessen. Vor der eigenen Messung wird eine Kalibrierung durchgeführt.

Für eine schnelle Messung sind Flüssigkeiten mit höherer Viskosität geeignet (Methylenjodid, Ethylenglykol), bei denen es zu besseren Abschwächungen der Einschlüsse und somit zur schnelleren Stabilisierung der Flüssigkeitsebene kommt als bei Flüssigkeiten mit niedriger Viskosität (Wasser, Heptan).

Experimentaltell

Für die Bewertung der 3 Methoden wurde die Abhängigkeitsüberwachung der Netzfähigkeit einer Polyesterfaser analog der Zeit für die alkalische Hydrolyse gewählt. Aus dem festgelegten Kontaktwinkel wurde sein Cosinus und die Adhäsionsarbeit errechnet. Die Beziehungen für die Festlegung der Adhäsionsarbeit sind in [1-3] erwähnt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt.

Einfluss der alkalischen Hydrolyse auf die Netzfähigkeit der Polyesterfaser

- Versuchsdurchführung

Polyesterfaser, Durchmesser 0,441 mm, Gewicht 1,320 g/cm³, behandelt mit organischer Lösung.

Alkalische Hydrolyse: Bad: 20 g/l NaOH, 4 g/l kationaktives Hilfsmittel, 1 g/l Dispergiermittel, FV 1:40, 90 °C

7 Muster mit verschiedener Verarbeitungszeit: 0, 1, 2, 3, 5, 10 & 20 min
Anschließend 3 Waschenstufen durchgeführt (20 °C, & 5 min)

Trocknen

Flüssigkeit: Destilliertes Wasser, Oberflächenspannung -72,8 mN·m⁻¹,

Dispersionskomponente der Oberflächenspannung -26 mN·m⁻¹,

Polarkomponente der Oberflächenspannung -46,8 mN·m⁻¹

Messmethoden: Wiegenmethode, Messung am Tensiometer Krüss, neue Methode

Auswertung

Das Ziel der Arbeit bestand in einer kritischen Auswertung der Methoden für die

Festlegung der Fasernetzfähigkeit, gleichzeitig sollte eine neue Messmethode vorgestellt werden.

Die Wiegemethode hat im Vergleich mit der neuen Methode gleiche Ergebnisse gebracht. Die Messung am Tensiometer ergab nicht die gleichen Ergebnisse, je-

doch ähneln den Ergebnissen der beiden anderen Methoden. Bei allen drei Methoden ist festzustellen, dass sich die Netzfähigkeit mit zunehmender alkalischen Hydrolyse erhöht. Diese Tatsache kann durch die Beschädigung der Faseroberfläche durch NaOH erklärt werden. Ein Bei-

Tabelle 1 Mittelwerte der Kontaktwinkel und Adhäsionsarbeiten

Zeit der Hydrolyse [min]	Kontaktwinkel [°]			Adhäsionsarbeit [J·m ⁻²]		
	WM	NM	Krüss	WM	NM	Krüss
0	54,37	61,63	68,37	0,1140	0,1062	0,0986
1	49,00	49,53	57,58	0,1192	0,1187	0,1106
2	45,26	44,70	51,43	0,1227	0,1232	0,1168
3	44,13	44,09	50,64	0,1237	0,1237	0,1176
5	42,63	42,31	51,19	0,1249	0,1252	0,1170
10	35,24	36,32	43,80	0,1308	0,1300	0,1239
20	22,36	25,88	44,30	0,1385	0,1368	0,1235

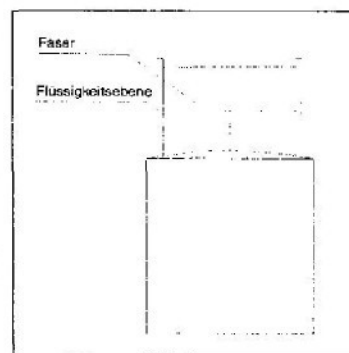


Bild 3 Schema des Fasermusters für Kontaktwinkelmessung mit der neuen Methode

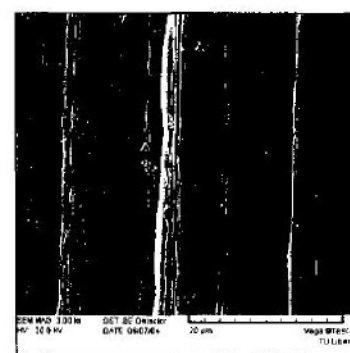


Bild 4 PES-Faser ausgerüstet 3 min durch alkalische Hydrolyse

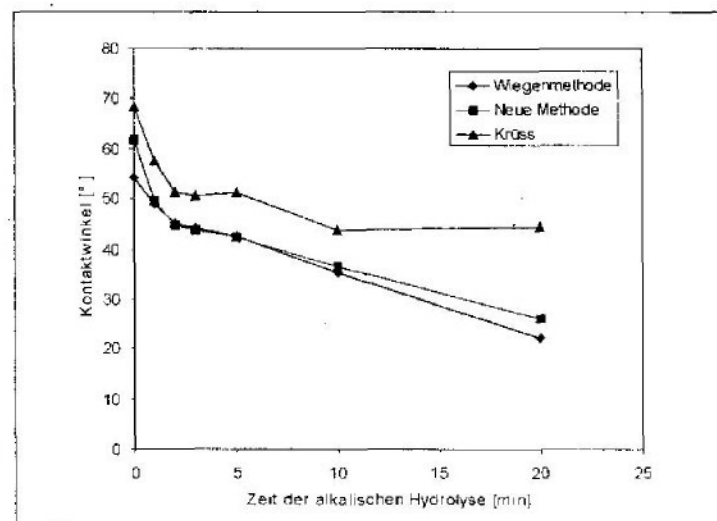


Bild 5 Vergleich Kontaktwinkel in Abhängigkeit der alkalischen Hydrolyse zwischen den getesteten Methoden

spiel der beschädigten Polyesteroberfläche ist in Bild 4 dargestellt.

Die Abweichung am Tensiometer stammt aus der Empfindlichkeit der Methode auf die Qualität der Muster. Das Muster muss gerade sein, was hinsichtlich des Mustertyps (Faser) das Hauptproblem war. Diese Methode ist für ebene Flächen geeignet

(Folien, Platten), aber bei kleinen und geometrisch komplizierten Formen (z.B. Fasern) ist die Mustervorbereitung sehr kompliziert. Die Werte der Kontaktwinkel waren im Vergleich zur Wiegemethode und der neuen Methode größer.

Die neue optische Methode ist eine für die Praxis anwendbare Methode, um den

Kontaktwinkel an herkömmlichen Fasern zu messen. Die Wiegemethode und die Messung am Tensiometer sind hinsichtlich des Messbereichs, dessen Minimum bei beiden Methoden 0,0001 g ist, für herkömmliche Fasern nicht geeignet.

In Tabelle 1 sind die Mittelwerte der Kontaktwinkel und der Adhäsionsarbeit dargestellt, die bei den einzelnen Messmethoden gewonnen wurden. Die graphischen Abhängigkeiten sind in den Bildern 5 und 6 dargestellt.

Für die objektive Auswertung der Genauigkeit wurden die Messstreuungen festgelegt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 und Bild 7 dargestellt. Die Unterschiede bei den einzelnen Methoden stammen von der Messgenauigkeit, der Materialabweichung und der Musterqualität. Bei beiden gravimetrischen Methoden spielen die letzten beiden Einflüsse eine große Rolle. Wird bei den gravimetrischen Methoden von einer Genauigkeit der Waage von 0,0001 g ausgegangen, so beträgt die Abweichung des Kontaktwinkels $0,64^\circ$. Die Materialabweichung kann durch die Auf-faserung der Fasern begründet werden, die durch die Hydrolyse entstanden ist. Beim unbehandelten Muster sind die Messstreuungen bei allen Methoden niedrig. Bei den behandelten Fasern sind sie größer. Die geringste Genauigkeit hatte nach den Messstreuungen die Methode der Messung am Tensiometer Krüss. Größten Einfluss auf die Variabilität hatte bei dieser Messmethode die Musterqualität.

Bei der neuen Methode spielt die Musterqualität eine untergeordnete Rolle. Die neue Methode liefert geringere Streuungen als die gravimetrischen Methoden.

Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit bestand in der Entwicklung und dem Vergleich einer optischen Methode zur Messung des Kontaktwinkels, die schon in [1] vorgestellt wurde. Beim Vergleich der Methode mit gravimetrischen Verfahren wurde festgestellt, dass die Ergebnisse, die mit der neuen Methode gewonnen wurden, genauer sind als die Ergebnisse aus den gravimetrischen Methoden. Die Genauigkeit wurde mittels Messstreuungen festgelegt.

Danksagung

Diese Arbeit wurde von "GAMK 104701/P031" (Tschechische Republik) unterstützt.

Literatur

- [1] Dembicky, J.: Melland Textilberichte 84 (2003), 398-400
- [2] Berg, J.C.: Wettability, New York (1993)
- [3] Anweisung für Arbeit mit Tensiometer Krüss K12
- [4] Anweisung für Arbeit in Bildanalyse Lucia 4.1 G

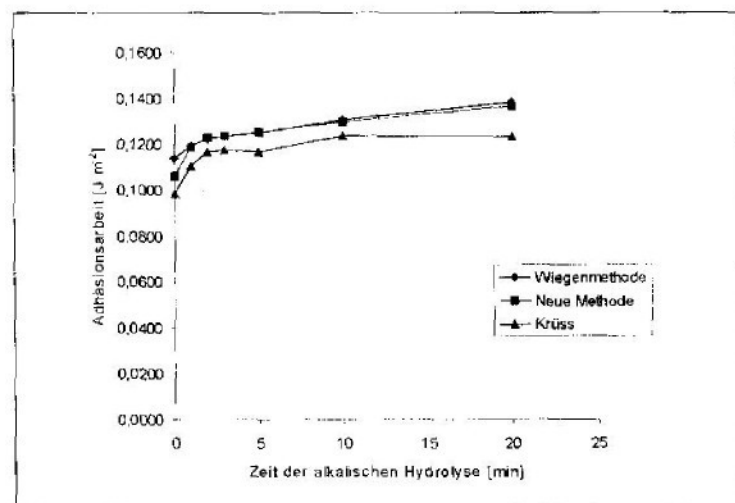


Bild 6 Vergleich der Abhängigkeit der Adhäsionsarbeit

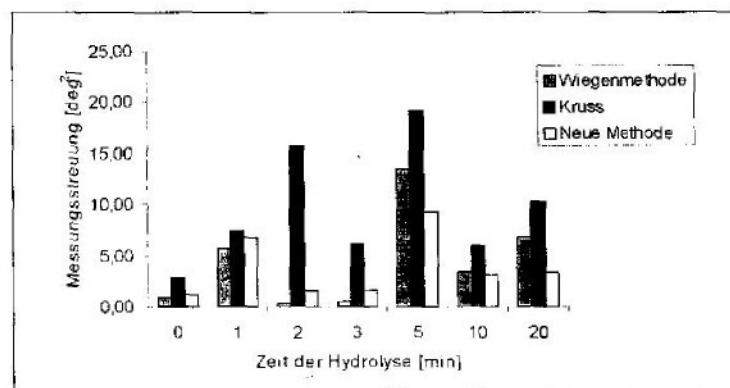


Bild 7 Graphische Darstellung des Vergleichs der Messstreuungen aus Tabelle 2

Zeit der Hydrolyse [min]	Messstreuung [deg²]		
	WM	NM	Krüss
0	0,92	1,17	2,79
1	5,67	6,82	7,48
2	0,31	1,57	15,70
3	0,55	1,58	6,16
5	13,49	9,25	19,16
10	3,37	3,10	5,96
20	6,83	3,32	10,23

Akustische Beschichtungen in Fahrzeuginterieurteilen

In der Automobilindustrie spielt die Akustik im Fahrzeuginnenraum zurzeit eine immer größere Rolle. Diese Arbeit zeigt eine Möglichkeit der Akustikverbesserung bei Formhimmeln auf, die aus mehreren Materialien hergestellt werden. Häufig werden Nadelvliese verwendet und durch spezielle Beschichtungen wurden interessante Ergebnisse erzielt, die eine Erhöhung der akustischen Absorption aufweisen. Die Arbeit konzentriert sich auf Beschichtungsparameter wie Viskosität und Beschichtungsmenge.

Josef Dembický

Fakultät für Textiltechnik, Technische Universität, Liberec/Tschechien

In der Automobilindustrie gibt es große Ansprüche an die akustischen Eigenschaften beim Fahrzeuginterieur. Die Akustik wird hier durch einzelne Interieurteile beeinflusst. Zu diesen Teilen gehören vor allem Formhimmel, Türverkleidungen, Bodenteppiche und Säulen.

Bei der Formhimmelproduktion werden verschiedene Materialien verwendet und die Sichtseite des Formhimmels wird mit Dekoren aus Textilmaterialien gebildet, die entweder Maschenwaren oder Vliesstoffe sein können oder es kann sich um einen Schichtstoff handeln. Diese Arbeit befasst sich mit speziellen akustischen Ausrüstungen auf Basis einseitiger Beschichtungen und das betreffende Textilmaterial in dieser Forschung ist ein Schichtstoff, der aus Maschenware, Polyurethanschäum und Nadelvlies besteht.

Alle Materialien haben bestimmte akustische Eigenschaften. Sie absorbieren oder reflektieren den Schall oder der Schall geht durch. Akustische Materialien müssen gemäß ihren Anforderungen Schall absorbieren. Strenge akustische Anforderungen sind im Bereich der Automobilindustrie typisch. Die meisten Fahrzeughersteller haben Targetwerte der akustischen Absorption definiert, die die Lieferanten der Interieurteile nicht überschreiten dürfen.

Textilbeschichtungen

Beim Vergleich mit der Textilveredlung werden bei Beschichtungen größere Mengen der aktiven Komponente ins Textilsubstrat aufgetragen. Das führt auch zu größeren Stärken des Ausrüstungsfilms auf der Materialoberfläche. In [1] ist eine Grenze von 5 g/m² erwähnt, die die Beschichtung von der Veredlung abteilen sollte.

Es gibt viele Beschichtungstechnologien, deren Unterschied meistens im Beschichtungskopf liegt [2]. Nach dem Beschichtungsauftrag folgt eine Fixierung mit intensiver Hitzeeinwirkung und am Ende der Produktionslinie hinter der Heizungskammer erfolgt die Aufwicklung des beschichteten Substrats.

Obwohl der Prozess einfach aussieht, wichtige Faktoren wie Viskosität, Rakelposition, Produktionsgeschwindigkeit und Substrateigenschaften beeinflussen die Ergebnisse im großen Maßstabe. Die Beziehung zwischen Beschichtungsdicke und diesen Faktoren beschreibt Gleichung (1) [3].

$$W = \frac{h}{2} + \frac{\left(\frac{1}{12\eta}\right)\left(\frac{\sigma}{2h^2} + \rho g\right)h^3}{u_0} \quad (1)$$

W Beschichtungsdicke [m]

h Rakel-Substrat Abstand [m]

η Viskosität der Beschichtungspaste [Pa.s]

σ Oberflächenspannung der Beschichtungspaste [N/m]

ρ spezifisches Gewicht der Beschichtungspaste [kg/m³]

u_0 Geschwindigkeit des Substrats [m/s]

Die Beschichtung bildet auf der Substratoberfläche einen nicht ganz flachen Film und es kommt zur Entstehung von mikroskopischen Gipfeln, deren Definition in [3] erwähnt ist. Hiermit ist auch die theoretisch festgesetzte Dicke nicht ganz genau und eine experimentelle Messung ist in diesem Fall an Stelle.

In dieser Arbeit wurde die Technologie mit Rakel auf Roller verwendet, die in [4] beschrieben ist.

Akustische Absorption

Die akustische Absorption stellt eine Materi-

Tabelle 1

Vliesstoffbeschreibung

Zusammensetzung	Maschenware-Schaum-Vliesstoff
Material	PES-PU-PES
Flächengewicht [g/m ²]	465
Flächengewicht vom Vlies [g/m ²]	240
Dicke [mm]	3.56

Bild 1

Einfluss der Rakelposition bei der Beschichtung auf akustische Absorption

